

---

# *S.T.A.R.*

*SAFETY TECHNIQUES FOR ASSESSMENT OF RISK*

**versione 4.6.5**



**GUIDA OPERATIVA**

**Rev.4.6.5**

SOMMARIO

Note di revisione .....	vi
<b>1. CONFIGURAZIONE HARDWARE E INSTALLAZIONE.....</b>	<b>2</b>
<b>2. AVVIO ED UTILIZZO .....</b>	<b>3</b>
2.1 FILE (ELABORAZIONE DI UNA SIMULAZIONE PRECEDENTE).....	3
2.2 MODELLI (NUOVA ELABORAZIONE).....	5
2.2.1 Soglie coefficienti Probit .....	7
2.2.2 Variabili (input) dati comuni.....	8
<b>3. MODELLI DISPONIBILI E SCENARI TRATTATI .....</b>	<b>11</b>
3.1 PORTATA DI RILASCIO (CODICE AFlow).....	11
3.2 JET (CODICE JETOOMS) .....	15
3.3 EVAPORAZIONE (CODICE AEVA) .....	18
3.4 IRRAGGIAMENTO (CODICE ARAD) .....	21
3.5 DISPERSIONE.....	26
3.5.1 Sorgenti puntiformi continue a quota del terreno (codice AHuang) .....	30
3.5.2 Rilascio continuo stazionario – modello Crunch (codice ADCM).....	31
3.5.3 Rilascio istantaneo o breve – modello Denz (codice ADCM) .....	32
3.5.4 Rilasci continui gas/vapori pesanti da pozza (codice AHega) .....	33
3.5.5 Sorgenti lineari quota terra o pozze (codice AHuang) .....	34
3.5.6 Ricaduta fumi di combustione - incendi liberi (codice AHuang).....	36
3.5.7 Ricaduta fumi di combustione - incendi all'interno di fabbricati (codice AAsme).....	37
3.5.8 Emissioni istantanee o brevi (codice AISTNO) .....	39
3.5.9 Nebbie da torri di raffreddamento (codice AAsme).....	39
3.5.10 Modelli di ricaduta gaussiani (codice AAsme).....	40
3.5.11 Modello di ricaduta non gaussiano (codice AHuang).....	44
3.5.12 Cortine d'acqua .....	47
3.6 PERCOLAMENTI NEL TERRENO (CODICE PERCOLA).....	49
3.7 DILUIZIONE / DISPERSIONE IN ACQUA (CODICE DISPW) .....	53
3.8 ESPLOSIONE / UVCE / TNT E TNT EQUIVALENTE (CODICE ACode).....	55
3.9 SCOPPIO RECIPIENTI (CODICE AFRAMM) .....	56
3.9.1 Modello NASA .....	56
3.9.2 Modello TNO .....	57
3.10 DIMENSIONAMENTO SFIATI .....	59
<b>4. RISULTATI - VISUALIZZAZIONE E STAMPA.....</b>	<b>63</b>
4.1 PORTATA DI EFFLUSSO .....	64
4.2 EVAPORAZIONE .....	69
4.3 IRRAGGIAMENTO .....	71
4.4 JET.....	79
4.5 DISPERSIONE.....	83
4.6 ESPLOSIONI.....	98
4.7 PERCOLAMENTO LIQUIDI .....	101
4.8 DILUIZIONE / DISPERSIONE IN ACQUA .....	103
4.9 DIMENSIONAMENTO SFIATI .....	105
<b>5. OPZIONI.....</b>	<b>109</b>
5.1 GESTIONE SOSTANZE.....	109
5.2 IMPOSTAZIONE PARAMETRI GIS.....	111
5.3 SFONDI .....	112
<b>6. CALCOLO AUTOMATICO .....</b>	<b>113</b>

<b>7.</b>	<b>BIBLIOGRAFIA</b> .....	<b>117</b>
<b>8.</b>	<b>APPENDICI</b> .....	<b>124</b>
8.1	<b>DATI PER MODELLO IRRAGGIAMENTO</b> .....	<b>124</b>
8.2	<b>VELOCITÀ DI FIAMMA</b> .....	<b>125</b>

<i>Elenco figure</i>	<i>Pag.</i>
Figura 1 – esempio schermata iniziale .....	3
Figura 2 – elaborazioni precedenti .....	4
Figura 3 .....	5
Figura 4 – menù scelta modello .....	6
Figura 5 – elenco sostanze .....	6
Figura 6 – grafico soglie di danno per tossicità .....	7
Figura 7 – input dati comuni .....	8
Figura 8 – menù scelta del modello di calcolo .....	10
Figura 9 – input per rilascio da serbatoio .....	11
Figura 10 – input per rilascio da tubazione .....	12
Figura 11 – input per calcolo rilascio da tubazione .....	13
Figura 12 – esempio di utilizzo “help” .....	13
Figura 13 – avviso incongruenza dati .....	14
Figura 14 – input per jet gassoso .....	15
Figura 15 – input per jet bifase .....	16
Figura 16 – input evaporazione Gas Liquefatti rilasci continui .....	18
Figura 17 – input evaporazione Gas Liquefatti rilasci istantanei .....	18
Figura 18 – input evaporazione liquidi .....	19
Figura 19 – menu modifica parametri substrato .....	20
Figura 20 – input modello irraggiamento .....	21
Figura 21 – irraggiamento da fabbricati .....	23
Figura 22 – input per irraggiamento artifici pirotecnici .....	24
Figura 23 – input dispersione sorgente puntiforme continua .....	30
Figura 24 – input modello rilascio continuo gas pesanti .....	31
Figura 25 – input per dispersione di rilasci istantanei o brevi con gas pesanti .....	32
Figura 26 – input dispersione rilasci continui di gas pesanti da pozza .....	33
Figura 27 – input dispersione da sorgenti lineari .....	34
Figura 28 – input ricadute da incendi liberi .....	36
Figura 29 – input ricadute da incendi in fabbricati .....	37
Figura 30 – input per dispersione istantanea .....	39

Figura 31 – input dispersione (conc. max – conc. vs stabilità).....	40
Figura 32 – input dispersione (conc. vs distanza).....	41
Figura 33 – input dispersione (conc. in un punto).....	42
Figura 34 – input dispersione (conc. annue vs direz. vento).....	43
Figura 35 – input dispersione da camini non gaussiano .....	44
Figura 36 – illustrazione effetto wake .....	45
Figura 37 – input cortine d’acqua .....	47
Figura 38 – parziali calcolo cortine.....	48
Figura 39 – input percolamenti su terreno.....	50
Figura 40 – tessitura terreni.....	51
Figura 41 - input dispersioni in acqua .....	53
Figura 42 - variabili ambito naturale .....	54
Figura 43 - dati del corso d'acqua .....	54
Figura 44 – input uvce/TNT .....	55
Figura 45 – input scoppi recipienti – modello NASA.....	56
Figura 46 – input scoppi recipienti – modello TNO .....	57
Figura 47 – progettazione con runaway in volano termico .....	60
Figura 48 – verifica sistema con reazione runaway ibrida .....	61
Figura 49 – verifica sistema per incendio esterno.....	62
Figura 50 – schermata per visualizzazione risultati .....	63
Figura 51 – es. schermata con risultati calcolo portata di efflusso da serbatoio.....	64
Figura 52 – es. stampa tabulato risultati calcolo portata da serbatoio .....	65
Figura 53 – es. visualizzazione risultati calcolo portata efflusso per gpl .....	66
Figura 54 – es. visualizzazione risultati calcolo efflusso bifase da tubaz.....	67
Figura 55 – es- visualizz. risultati calcolo efflusso da tubaz.intercettata.....	68
Figura 56 – es. visualizzazione risultati calcolo evaporazione gpl da pozza.....	69
Figura 57 – es. dati di sintesi calcolo evaporazione .....	70
Figura 58 – es. visualizzazione risultati calcolo irraggiamento pool fire.....	71
Figura 59 – irraggiamento con schermo (versione P).....	72
Figura 60 – irraggiamento con schermo (versione P).....	73
Figura 61 – es. visualizzazione risultati calcolo irraggiamento da torcia .....	74
Figura 62 – es. stampa risultati fire-ball .....	75
Figura 63 – grafico isoplete irraggiamento da pool fire.....	76
Figura 64 – grafico irraggiamento vs distanza.....	76
Figura 65 – visualizzazione risultati irraggiamento da artifici pirotecnici.....	77

Figura 66 – irraggiamento da aperture fabbricato .....	78
Figura 67 – es. visualizzazione risultati jet.....	79
Figura 68 – es. stampa jet bifase .....	80
Figura 69 – es. visualizzazione grafico traiettoria jet.....	81
Figura 70 – es. stampa da appunti .....	81
Figura 71 – es. grafico concentrazione vs distanza.....	82
Figura 72 – es. grafico isoplete jet.....	82
Figura 73 – es. tabulato dei risultati modelli dispersione .....	83
Figura 74 – es. videata dispersione modello “box” (Crunch) rilasci continui .....	84
Figura 75 – es. video risultati modello AHega (rilasci continui) .....	85
Figura 76 - tabulato dei risultati della dispersione (sorgenti lineari) .....	86
Figura 77 – es. tabulato risultati modello cortine d’acqua .....	87
Figura 78 – es. tabulato modello istantaneo DENZ (pagina 1) .....	88
Figura 79 - es. tabulato modello istantaneo DENZ (pagina 2).....	89
Figura 80 – idealizzazione rilasci continui (modello box) .....	89
Figura 81 – idealizzazione rilasci continui (modello AHega) .....	90
Figura 82 – idealizzazione rilasci istantanei (modello box).....	90
Figura 83 – idealizzazione in pianta modello box.....	91
Figura 84 – es. visualizzazione risultati ricadute da incendi liberi .....	92
Figura 85 – es. stampa risultati ricadute da incendi in fabbricati.....	93
Figura 86 – es. stampa risultati ricadute da camini.....	94
Figura 87 – es. stampa risultati ricadute da camini (modello non gaussiano) .....	95
Figura 88 – es. stampa risultati emissioni brevi/istantanee .....	96
Figura 89 – esempio di grafico delle isoconcentrazioni.....	97
Figura 90 – esempio di grafico x-y.....	97
Figura 91 – esempio di stampa per scenari di esplosione recipienti.....	98
Figura 92 – es. stampa per modello TNT equivalente .....	99
Figura 93 – es. grafico a video isoplete sovrappressione.....	100
Figura 94 – es. stampa grafico isoplete sovrappressione .....	100
Figura 95 – es. risultati calcolo percolamento su terreno .....	101
Figura 96 - dispersione in acqua liquidi solubili .....	103
Figura 97 - grafico dispersione in acqua.....	104
Figura 98 - dispersione in acqua liquidi insolubili.....	104
Figura 99 – es. per verifica sistema esistente con runaway ibrida .....	105
Figura 100 – esempio per verifica sistema esistente con runaway temperata .....	106

Figura 101 – esempio per progettazione nuovo sistema con runaway temperata .....	107
Figura 102 – visualizzazione output per incendio esterno.....	108
Figura 103 – es. elenco sostanze in banca dati S.T.A.R. ....	109
Figura 104 – elenco parametri delle sostanze in banca dati S.T.A.R.....	110
Figura 105 – dati impostazioni GIS .....	112
Figura 106 – scelta calcolo automatico .....	113
Figura 107 – input per calcolo automatico (portata efflusso).....	114
Figura 108 – input calcolo automatico (evaporazione).....	114
Figura 109 – input calcolo automatico (dispersione).....	115
Figura 110 - input calcolo automatico (uvce).....	115
Figura 111 – scelta output per calcolo automatico .....	116

***L'uso non autorizzato del software è vietato ai sensi delle norme vigenti.***

## NOTE DI REVISIONE

Dalla versione 4.4 ad oggi si ricordano le seguenti modifiche e/o variazioni del software:

*Nell'aggiornamento 4.4.1 è stato modificato il limite della distanza del foro per il calcolo delle perdite di carico localizzate nel codice AFLOW (pag.10), considerando che per l'installazione di valvole o altro è necessaria una certa distanza dal punto di inizio della tubazione.*

*Nell'aggiornamento 4.4.2 sono state aggiunte informazioni relative ai fenomeni di deposizione e decadimento (pag. 20-21) e ulteriori indicazioni sui modelli di dispersione elencati nella Tabella 3 – riassunto modelli.*

Successivamente, fino alla versione 4.5.2 sono state apportate le seguenti modifiche e aggiornamenti:

- \* *oltre 380 sostanze in banca dati,*
- \* *inserimento della metodologia di calcolo della distanza di sicurezza in caso di incendio all'interno di fabbricati secondo le indicazioni del D.M. 3 agosto 2015, sia con il metodo analitico che con quello tabellare,*
- \* *introduzione della possibilità di calcolare le concentrazioni di inquinante nel suolo in seguito a spandimento in un'area pavimentata con fessurazioni o discontinuità.*

Nella versione 4.5.3 le modifiche sono state:

- \* *inserimento di nuove equazioni tratte da regressioni che descrivono più correttamente il modello TNT equivalente (finora si erano usate relazioni riferite al TNT più affini a sostanze o prodotti esplosivi, mentre il TNT equivalente può essere usato anche per esplosioni che non riguardano alti esplosivi),*
- \* *400 sostanze e/o miscele in banca dati,*
- \* *correzione di alcuni errori (grammaticali o di forma) nelle stampe,*
- \* *correzione delle informazioni finali su distanza LFL nelle stampe del modello box per rilasci continui,*
- \* *aumento delle dimensioni dei caratteri nelle finestre di dialogo e per inserimento dati.*

Nella versione 4.5.4 è stato corretto un bug riscontrato nel modello TNT che comportava risultati simili al TNT equivalente, ma non conformi al modello per esplosivi puri denominato TNT (ved. § 3.7).

Le modifiche della versione 4.6.0 sono consistite in:

- \* *modifica del modello percolamento su terreno (vedere § 3.6),*
- \* *inserimento di modello per il calcolo della dispersione di liquidi in acqua (vedere § 3.7),*
- \* *modifica dei dati chimico-fisici delle sostanze (vedere § 5.1).*

Nella versione 4.6.2 si è modificato il modello percolamento (§ 3.6), introdotta la possibilità di tener conto di schermi nell'irraggiamento da pozza (§ 3.4) aggiunto nuove sostanze con la modifica di alcuni parametri (§ 5.1) e visualizzato il codice della sostanza nell'intestazione dei menù.

Nella versione 4.6.3 è stata solo modificata la stampa del modello per dispersione da emissioni istantanee o brevi (codice AISTNO) sostituendo le concentrazioni su assi paralleli all'asse X con il tempo di persistenza delle concentrazioni di soglia che sono inserite nel file della sostanza (xxx.PRO). Per cambiare tali concentrazioni occorre modificare i dati del corrispondente file xxx.PRO. Non variano i parametri richiesti per l'uso del modello.

La versione 4.6.4 del software comprende le seguenti modifiche:

- \* *stampa della densità media del flusso bifase per tubazioni non in esercizio (intercettate),*
- \* *correzione bug nella stampa del modello Box (per sostanze tossiche e infiammabili non stampava la persistenza della miscela infiammabile).*

Nella revisione 4.6.4 del manuale si specificava che il substrato "ghiaia" è utilizzabile solo per gas liquefatti. C'erano inoltre alcune variazioni di esposizione volte a meglio chiarire le opzioni di calcolo.

*Nella presente versione 4.6.5 del software sono incluse le seguenti modifiche riguardanti sia il software che il manuale:*

- \* *nel modello di calcolo dell'irraggiamento da pozza è inserita una routine che permette di tener conto dell'effetto di riduzione assicurato da schermi (muri o altro) posti tra la fiamma e l'obiettivo del calcolo (§ 3.4),*
- \* *le sostanze/soluzioni (file xxx.PRO) sono aumentate fino a 450,*
- \* *stampa del tempo di arrivo della concentrazione nel modello di dispersione gaussiano (Asme),*
- \* *aggiunto ulteriori messaggi di allerta per i casi di inserimento di valori input fuori del campo di validazione.*

*Le modifiche apportate al presente Manuale, evidenziate con colore diverso per facilitarne l'individuazione, comprendono anche indicazioni riguardanti la versione progettazione del software.*

*Solo per l'acquirente della versione progettazione, il Manuale avrà un'appendice che fornisce ulteriori indicazioni per la realizzazione di cortine d'acqua conformi ai requisiti del modello di calcolo.*

***Al redattore del Manuale, agli autori del software e ad ARTES S.r.l. non è attribuibile responsabilità alcuna per l'eventuale uso non corretto del software e/o per eventuali danni o inesattezze derivanti dall'utilizzo dei risultati forniti dai modelli.***

## PREMESSA E GENERALITÀ

*Il software STAR "Safety Techniques for Assessment of Risk" è costituito da un insieme di modelli matematici informatizzati concepiti per la simulazione degli effetti di fenomeni fisici connessi con l'accadimento di incidenti rilevanti, quali incendi, esplosioni, emissioni di gas o vapori tossici, ecc. Comprende inoltre modelli per la verifica o il dimensionamento di cortine d'acqua e, nella versione "progettazione", per la verifica e dimensionamento di scarichi funzionali, cioè valvole di sicurezza o dischi di rottura a protezione di apparecchi per sovrappressione determinata da reazioni runaway o da incendio esterno.*

L'utilizzo di svariati modelli permette di tener conto con maggior dettaglio delle molteplici differenze che caratterizzano gli scenari di incidente.

Una delle schermate iniziali di avvio del programma, che rimane fissa come sfondo durante l'utilizzo, ma può essere scelta tra altre immagini, è la seguente, tratta da sperimentazioni su articoli pirotecnici.



Può essere cambiata dal Menu principale scegliendo "Opzioni" → "Sfondi" (ved. § 5.3).

Di seguito sono riportate le indicazioni e suggerimenti per l'utilizzo del software.

## 1. CONFIGURAZIONE HARDWARE E INSTALLAZIONE

Requisiti minimi del PC: Intel Pentium o superiore, Windows 98/NT/XP/Vista/7/8/10, memoria RAM minima 32MB, specie se utilizzato unitamente ad altre applicazioni, almeno 30 Mbyte di spazio su disco fisso. Risoluzione dello schermo minima consigliata 1024x768.

Stampante compatibile con Win98/NT/XP/Vista/7/8 (le uscite in modalità grafica possono avere risultati estetici diversi a seconda del driver utilizzato).

Il software viene distribuito via e-mail mediante file autoscompattante contenente anche il presente Manuale in formato PDF; su richiesta è fornito anche in CD rom.

Il programma è protetto mediante riconoscimento del computer per il quale è prevista l'installazione attraverso il codice di scheda LAN o wireless.

### Installazione

Verificata la disponibilità di spazio su disco fisso (30 Mbyte), eseguire il file autoinstallante con estensione .exe fornito o scaricato. Saranno create le seguenti cartelle:

C:\Winstar 4 (dove verrà installato il programma)

C:\Winstar 4\Calcoli (dove saranno salvati i files di input e dove sono copiati alcuni esempi)

C:\Winstar 4\FilesPRO (dove sono archiviati i file con i parametri caratteristici delle sostanze)

C:\Winstar 4\GraficaSfondo (dove ci sono le immagini delle finestre di avvio)

**Con l'installazione si sovrascrivono eventuali files o versioni precedenti, per cui è consigliabile fare un backup, almeno della cartella (directory) C:\Winstar 4\Calcoli.**

Per disinstallare il programma usare la normale procedura di Windows o l'opzione disinstalla dal menu Programmi → Winstar. Al termine rimuovere la directory C:\Winstar 4 perché non viene rimossa automaticamente poiché durante le esecuzioni vengono creati file temporanei con estensioni WST e OUT.

Sul desktop sarà creata l'icona  per l'avviamento del programma. Se si desidera creare un altro collegamento con altri simboli, portarsi nella cartella C:\Winstar 4 e scegliere il programma STAR465.exe per eseguire il collegamento.

**Con Windows 7, 8 e 10 eseguire il programma in modalità "amministratore"**

*(per Windows 10 cliccare con il tasto destro sull'icona  quindi scegliere "esegui come amministratore" dall'elenco).*

## 2. AVVIO ED UTILIZZO

Per l'avviamento cliccare due volte sull'icona  o usare il menù Programmi → Winstar. Al primo utilizzo, o per avere una panoramica delle opzioni disponibili e del funzionamento del programma, si consiglia di utilizzare una simulazione (o scenario) precedentemente salvata (file con estensione .wst): sarà possibile anche effettuare variazioni o modifiche, salvando poi il nuovo scenario con un altro nome.

La schermata iniziale è presentata nella Figura 1 che segue, dov'è anche riportato il menù a tendina che si apre cliccando sulla casella "File" in alto a sinistra. Le altre opzioni sono illustrate nel seguito.

Lo sfondo può essere cambiato a piacere, come illustrato nel §5.3.

### 2.1 FILE (ELABORAZIONE DI UNA SIMULAZIONE PRECEDENTE)

Per caricare una simulazione precedente posizionare il cursore sulla casella "File" in alto a sinistra e cliccare una sola volta: si aprirà il menù che si vede in alto a sinistra nella Figura sottostante.

**Figura 1 – esempio schermata iniziale**



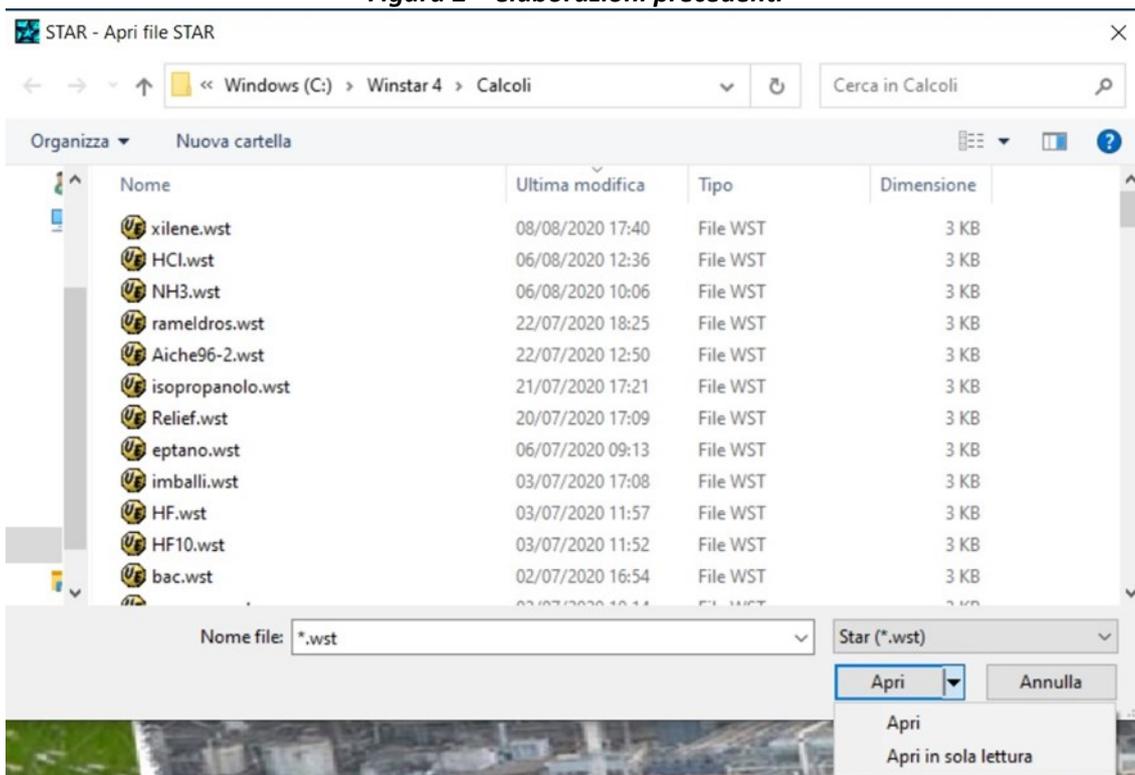
Le opzioni che si presentano sono:

Nuovo	serve ad annullare una simulazione già scelta per iniziarne una nuova
Salva	archivia la simulazione effettuata (se non ha già un nome verrà proposta la finestra per inserire un nuovo nome)
Salva con nome	archivia la simulazione appena eseguita richiedendone il nome (che può essere diverso da quello iniziale)
Imposta stampante	permette di scegliere la periferica su cui stampare i risultati
Esci	chiude il programma (se non si è salvata l'ultima elaborazione verrà richiesto se si desidera salvarla)

Cliccando su "Apri" viene automaticamente proposto un elenco dei file di simulazione già elaborati (vedere Figura 2 seguente) dai quali è possibile scegliere quello da utilizzare cliccando due volte sul nome (o anche cliccando una volta sul nome ed una seconda volta sulla casella apri in basso a destra).

Se non si vogliono modificare i dati del file si può scegliere "Apri in sola lettura" cliccando sulla freccia a destra della casella "Apri" come nella figura seguente.

**Figura 2 – elaborazioni precedenti**



Effettuata la scelta, verrà visualizzato il menu generale come nella Figura 7 riportata nel seguito.

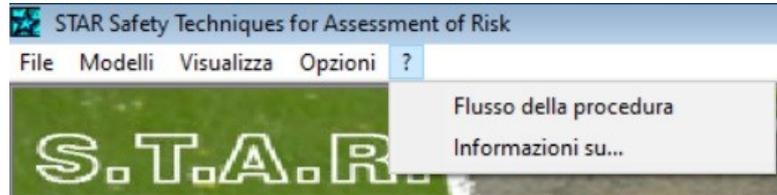
Cliccando sulla casella "Annulla" si ritorna alla schermata iniziale.

Per eseguire una nuova elaborazione su uno scenario non già esistente, si sposta il cursore a destra cliccando sulla casella Modelli (vedere § 2.2).

La casella Visualizza permette di vedere ed eventualmente stampare i risultati o i grafici (vedere capitolo 4).

La casella Opzioni apre un nuovo menù a tendina che è trattato nel capitolo 5.

Cliccando sulla casella " ? ",  
 come illustrato nella figura a  
 destra, si può visualizzare  
 una indicazione del flusso



della procedura di calcolo offerta dal software, con l'indicazione dei modelli utilizzabili, oppure le informazioni sul software (versione, credits).

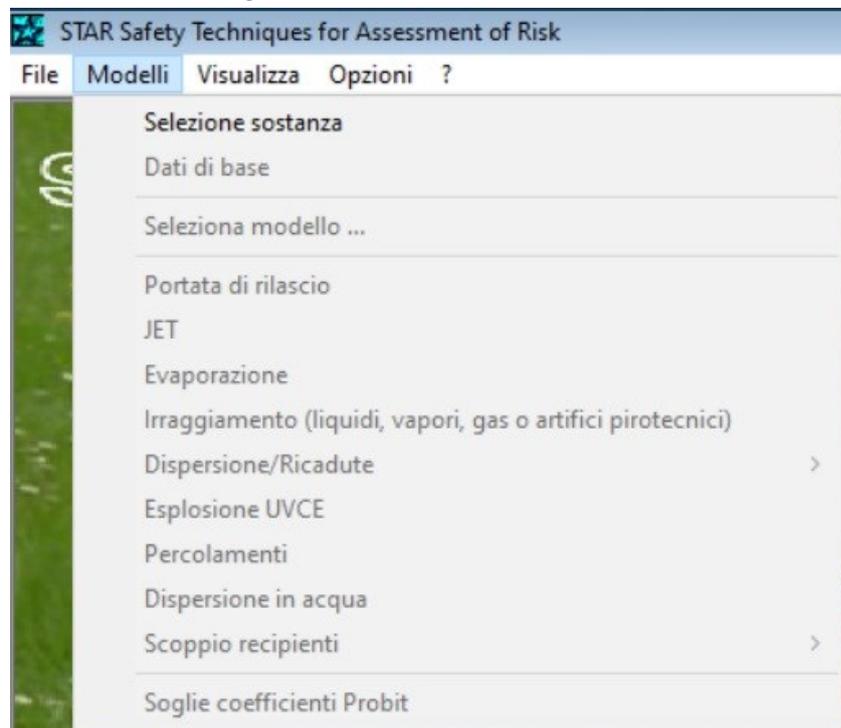
## 2.2 MODELLI (NUOVA ELABORAZIONE)

**Figura 3**

In questa schermata  
 iniziale è attivata solo la  
 voce "Selezione sostanza".

Il programma, infatti,  
 funziona solo se è  
 selezionata la sostanza  
 oggetto dello scenario e  
 sono state inserite le  
 variabili generali.

Cliccando su questa voce si  
 aprirà l'elenco delle  
 sostanze presenti nella  
 banca dati, come illustrato  
 nella Figura 5.



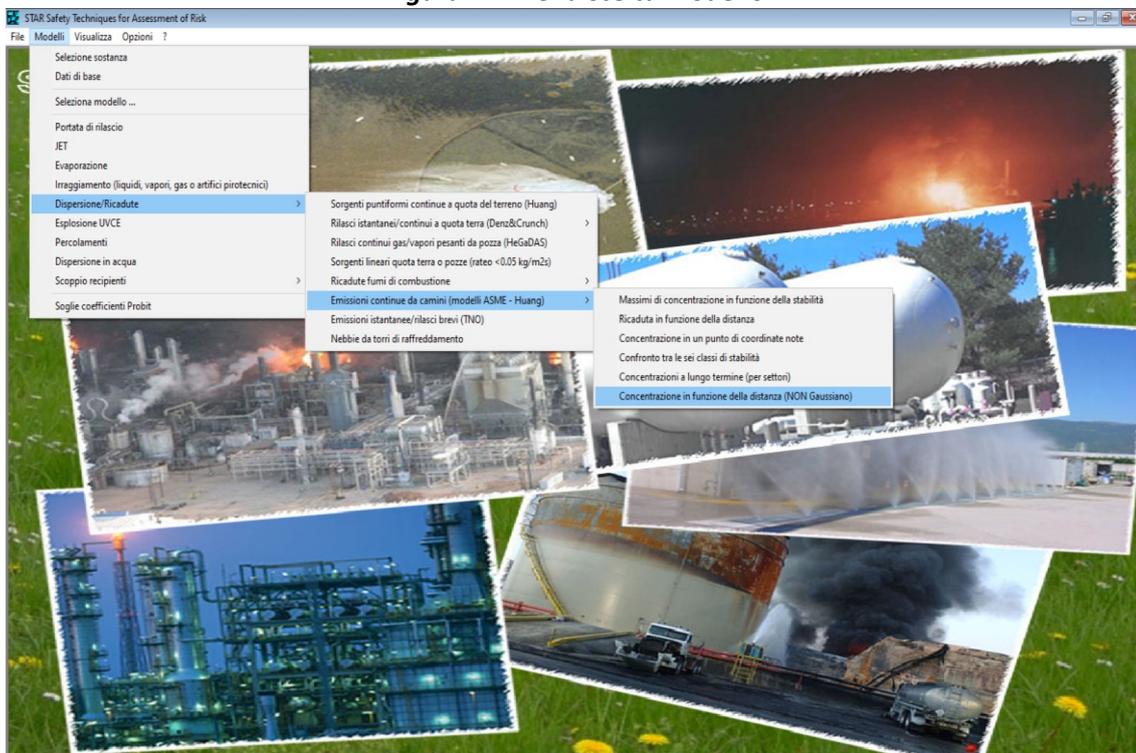
Le altre voci del menu  
 sono attivate (passando

dal testo in grigio a nero) solo dopo aver selezionato la sostanza: i "Dati di base" sono le variabili generali della Figura 7; l'opzione "Seleziona modello" apre il menù della Figura 8.

Sottostante a questa voce c'è l'elenco dei modelli, ovvero del tipo di simulazione, che permette la scelta diretta del modello da applicare (per esempio, cliccando sulla voce "Dispersione/Ricadute" si apre un nuovo menu che permette la scelta di ulteriori modelli, come nella Figura seguente)<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> Nella versione commerciale non è inserito il modello per dimensionamento sfiati.

**Figura 4 – menù scelta modello**



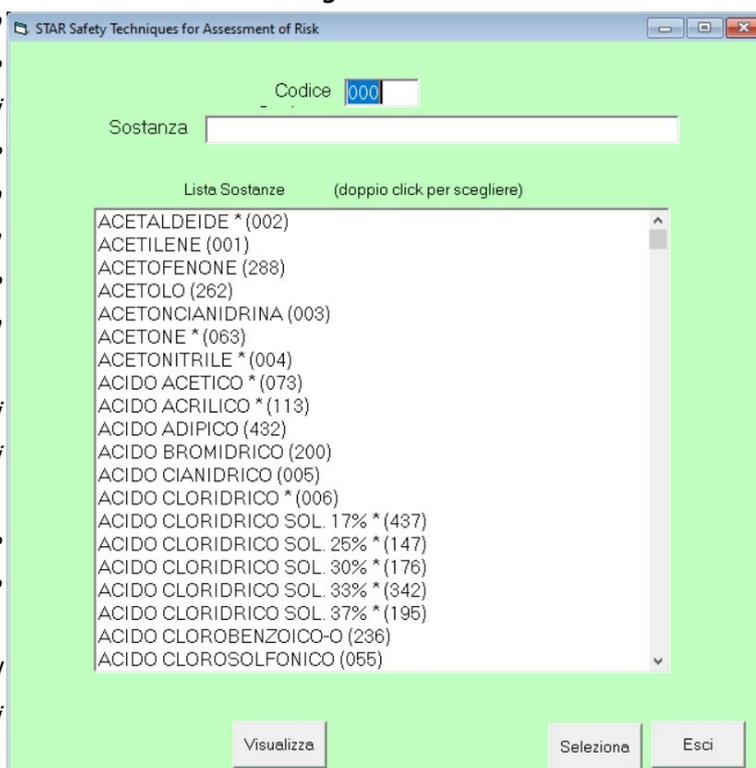
Proseguendo nell'opzione di una nuova elaborazione con la scelta di una sostanza sarà visualizzata la seguente schermata.

**Figura 5 – elenco sostanze**

La scelta si può fare scorrendo l'elenco mediante la barra laterale fino a individuare la sostanza di interesse, quindi cliccando due volte sul nome, oppure cliccando una volta sul nome e poi una volta sulla casella Seleziona, oppure, se si conosce, inserendo il codice nella casella in alto.

Se si desidera vedere i dati di ciascuna delle sostanze presenti cliccare sulla casella "Visualizza".

La gestione dell'archivio sostanze viene eseguita tramite la voce "opzioni" della schermata di avvio, il cui contenuto viene descritto nel seguito assieme alle spiegazioni delle singole variabili inserite.

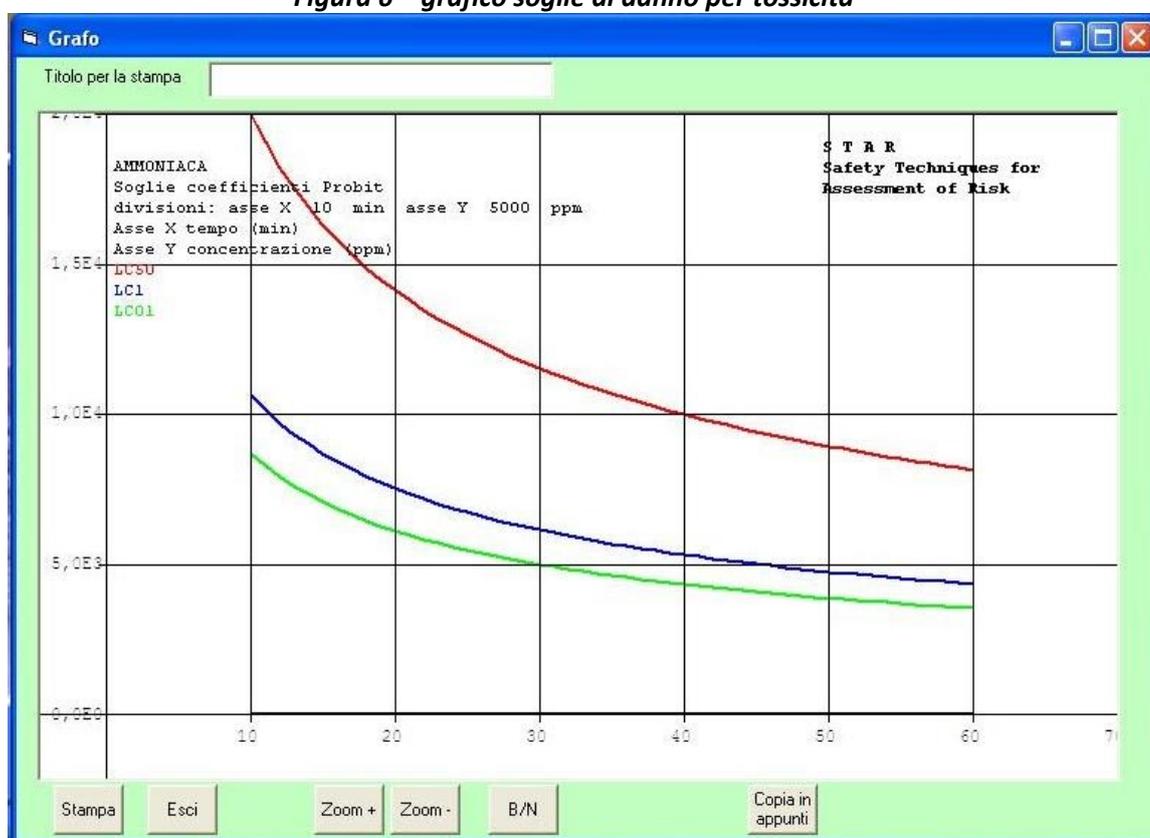


Una volta confermata la selezione della sostanza viene aperto il menù dei dati (input) di base, o dati comuni, cioè variabili che sono utilizzate da più modelli, per la spiegazione del quale si rinvia al § 2.2.2.

### 2.2.1 SOGLIE COEFFICIENTI PROBIT

Quest'opzione, disponibile solo se sono stati inseriti i dati di base, consente di ottenere l'indicazione delle concentrazioni connesse ai valori di soglia LC50, LC1, LC01 per le sostanze di cui sono noti i coefficienti di probit, come nell'esempio della Figura seguente.

**Figura 6 – grafico soglie di danno per tossicità**



La funzione matematica di probit (probability unit) consente il calcolo, con ragionevoli limiti di confidenza, della concentrazione corrispondente ad una determinata probabilità di danno in funzione del tempo di esposizione.

L'equazione generale è 
$$Probit = a + b * \ln(C^n * t)$$

I coefficienti "a", "b" e "n" sono specifici per ciascuna sostanza chimica e vengono determinati sulla base di correlazioni tra osservazioni sperimentali e conoscenza del metabolismo umano; "C" e "t" sono, rispettivamente, la concentrazione e il tempo di esposizione (in minuti), "Pr" è il valore di unità probit la cui corrispondenza con le soglie di danno è di seguito indicata:

**Tabella 1**

valore probit	soglia	Descrizione
1,91	LC01	0,1% di letalità per il tempo di esposizione assunto
2,67	LC1	1% di letalità per il tempo di esposizione assunto
5	LC50	50% letalità per il tempo di esposizione assunto

I coefficienti sono inseriti nel file con estensione .pro della banca dati, visibili o modificabili con le opzioni descritte al § 5.1.

*Prima di modificare i dati dei files sostanze della banca dati si raccomanda di farne una copia in modo da ripristinare quelli originali in caso di errori o malfunzionamenti: la modifica dei parametri del file .pro comporta sempre variazioni nei risultati delle simulazioni.*

Qualora non fossero disponibili i coefficienti di probit (in letteratura sono riportati solo per qualche decina di sostanze) occorre stimarli sulla base di criteri e metodi riportati nella letteratura tecnica (per esempio <sup>2</sup> o altri).

## 2.2.2 VARIABILI (INPUT) DATI COMUNI

La descrizione delle variabili da inserire in questo menù è data nel seguito. Per muoversi all'interno del menù si può utilizzare il tasto delle tabulazioni. Per ottenere un aiuto nella scelta si posiziona il cursore sopra alla casella di inserimento dati.

La casella "Chiudi" permette di tornare alla schermata di avvio.

La scelta dell'opzione "Automatico" è illustrata nel Capitolo 6.

**Figura 7 – input dati comuni**

<sup>2</sup> CPR 16E "Methods for the determination of possible damage to people and objects resulting from release of hazardous materials" – TNO – ISBN 90-5307-052-4.

La scelta della fase della sostanza va operata sulla base dello stato della sostanza nelle condizioni dello scenario che si sta simulando (per esempio se un liquido è a temperatura > dell'ebollizione si sceglie "liquido surriscaldato").

La pressione di rilascio dev'essere sempre in bar assoluti, quindi > 1,013 e si riferisce alle condizioni presenti nel circuito, apparecchio o sistema da cui si ipotizza avvenga il rilascio (solitamente si inserisce la pressione di esercizio o quella di apertura di PSV o PSE)

Il diametro è quello equivalente del foro nel caso di rottura o foratura, quello dello sfiato o vent nel caso di emissione.

Le temperature sono, rispettivamente, quella all'interno del circuito o apparecchio (che può essere o non in equilibrio con la pressione), quella dell'atmosfera esterna, quella del terreno o pavimentazione o acqua dove avviene il rilascio.

La velocità del vento va riferita alla quota di 10 m sul suolo.

La classe di stabilità atmosferica fa riferimento alle categorie di Pasquill e può essere scelta, in mancanza di altre fonti dalla Tabella che segue.

Il parametro di rugosità è una misura degli ostacoli presenti al suolo nella direzione della dispersione: suggerimenti sono dati posizionando il cursore sulla casella.

**Si raccomanda di non lasciare vuota alcuna casella, inserendo un valore >0 per ogni variabile (>1,013 per la pressione).**

**Tabella 2 – indicazioni per la scelta della classe di stabilità atmosferica**

velocità del vento (m/s)	insolazione			notte/copertura nubi	
	forte	moderata	debole	> 4/8	< 3/8
< 2	A	A-B	B	–	–
2÷3	A-B	B	C	E	F
3÷5	B	B-C	C	D	E
5÷6	C	C-D	D	D	D
> 6	C	D	D	D	D

Una volta inseriti tutti i dati cliccare sulla casella "Applica" in basso per aprire la schermata successiva dove scegliere il fenomeno da simulare ed il relativo modello.

Per ulteriori indicazioni sulla scelta o valori della variabile posizionare il cursore sulla casella della variabile da inserire, come illustrato nella Figura 12.

**Figura 8 – menù scelta del modello di calcolo**

**nota: i modelli per il dimensionamento sfiati (in basso a destra nella figura precedente) sono disponibili solo nella versione "Progettazione" del software.**

Selezionare il modello che descrive il fenomeno da simulare spuntando la casella a destra, quindi cliccare sulla casella "Esegui" (i modelli di dimensionamento sfiati sono disponibili solo con l'opzione progettazione). La scelta del modello può essere fatta anche dalla schermata di avvio cliccando sulla voce "Modelli" (Si apre un Menu a tendina con l'elenco dei modelli).

**Per utilizzare il modello occorre tuttavia aver scelto la sostanza ed aver inserito le variabili (input) generali o variabili di base (Figura 7).**

Con la conferma data cliccando sulla casella esegui si apre il menù di inserimento delle variabili specifiche.

Cliccando sulla casella "<Dati di base" si ritorna al menù generale (precedente), mentre cliccando sulla casella "Chiudi" si va alla schermata di avvio senza salvare i dati inseriti.

### 3. MODELLI DISPONIBILI E SCENARI TRATTATI

I modelli disponibili ed i relativi fenomeni sono di seguito descritti (referenze bibliografiche al termine del Manuale). Nella versione "progettazione" sono utilizzabili modelli per il dimensionamento di muri antiscoppio e per la verifica e/o dimensionamento di scarichi funzionali (dischi di rottura o PSV) anche in regime bifase.

#### 3.1 PORTATA DI RILASCIO (CODICE AFLOW)

Calcola la portata di gas, gas liquefatti o liquidi da aperture o fori su serbatoi o tubazioni. Si applica a serbatoi sferici, cilindrici orizzontali o verticali, a tubazioni con flusso o a tratti di tubazione intercettati. Permette di tener conto delle perdite di carico localizzate e del regime di flusso. Fonti teoriche [1] [2] [3] [46] [47] [48] [50] [86] [87] [99] [100].

I Menù di inserimento variabili si diversificano tra rilascio da serbatoio o da tubazione.

**Figura 9 – input per rilascio da serbatoio**

The screenshot shows a software window titled "066 PENTANO + - modello: Portata di rilascio". The interface is divided into two main sections: "Serbatoio" (Tank) and "Tubazione" (Piping). The "Serbatoio" section is active, indicated by a radio button. Under "Geometria del serbatoio", three options are available: "sferico" (spherical), "cilindrico verticale" (vertical cylindrical), and "cilindrico orizzontale con fondi emisferici" (horizontal cylindrical with hemispherical ends). Below these are four input fields, each with a "0" value: "Quota del foro di efflusso [m]", "Diametro del serbatoio [m]", "Altezza o lunghezza del serbatoio [m]", and "Battente di liquido nel serbatoio [m]". A "Modifica coefficiente d'efflusso" button is located to the left of these fields. At the bottom of the window, there are five buttons: "Esegui", "Applica", "< Dati di base", "Altri dati >>>", and "Chiudi". A status bar at the very bottom reads "inserisci o aggiorna i dati relativi al modello Portata di rilascio".

Scegliendo (cliccando sulla casella a fianco) la geometria del serbatoio, sono attivate le caselle dove inserire le variabili.

La casella "Modifica coefficiente di efflusso" permette, se del caso, di variare tale coefficiente (impostato come default a 0,61). Una volta inserite le variabili cliccare sulla casella "Applica" per confermare e quindi sulla casella "Esegui" per passare al calcolo.

**Figura 10 – input per rilascio da tubazione**

Se si sceglie l'opzione "linea intercettata o ferma" non è necessario inserire il dato della portata tubazione. Per distanze del foro dall'origine > 0,1 m si effettua il calcolo della perdita di carico connessa con tale distanza, per distanze > 2 m è anche attivata l'opzione "Perdite di carico accidentali", selezionando la quale si possono inserire alcune tipologie di elementi che determinano ulteriori perdite di carico, come illustrato nella figura seguente.

**Figura 11 – input per calcolo rilascio da tubazione**

Cliccando sulla casella "Variazioni di sezione" sono attivate tre opzioni che richiedono l'inserimento dei diametri maggiore e minore relativi alle variazioni (opzioni cumulabili se le variazioni dei diametri sono le stesse). Per le valvole o componenti che contribuiscono alla perdita di carico,

sono da inserire quelle presenti tra l'inizio della linea ed il punto di rilascio.

In tutti i Menù di inserimento input, per avere chiarimenti sulle variabili da inserire si posiziona il cursore sulla casella della variabile e sarà visualizzata una breve spiegazione come illustrato nella figura seguente.

**Figura 12 – esempio di utilizzo "help"**

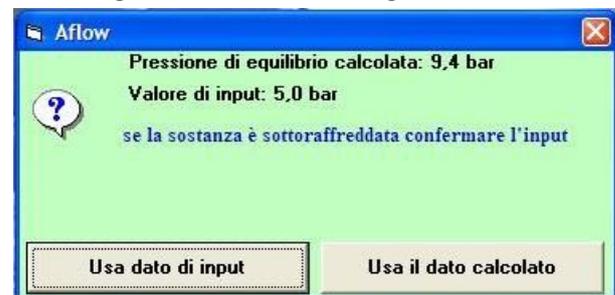
Completato l'inserimento delle variabili cliccare su "Applica" e poi su "Esegui".

Il calcolo può anche essere eseguito in seguito, ma occorre salvare i dati di input se non si vuole reinserirli; per fare ciò si clicca sulla casella "File" della schermata di avvio e si salva il file con nome.

Quando si trattano gas liquefatti o liquidi surriscaldati, il modello esegue una verifica delle condizioni di equilibrio: nel caso si sia inserita una pressione non corrispondente all'equilibrio con la temperatura verrà visualizzato il seguente avviso:

**Figura 13 – avviso incongruenza dati**

*Cliccando sulle caselle in basso è possibile cambiare la pressione o confermare le condizioni inserite (l'avviso viene visualizzato solo se la differenza tra pressione calcolata e dato inserito è maggiore di 1 bar)*



Terminato il calcolo sarà visualizzata la finestra a fianco.

È possibile rifare il calcolo con altre variabili o passare subito alla stampa del tabulato dei risultati.

La descrizione dei risultati e delle stampe o grafici viene fornita al § 4.1.



### 3.2 JET (CODICE JETOOMS)

Calcola la portata di efflusso e la concentrazione di inquinanti gassosi emessi ad alta velocità o di flussi bifase. È integrato con il modello TeRiele per il calcolo delle concentrazioni di gas pesanti quando l'asse del jet tocca il suolo<sup>3</sup>. Fonti teoriche [16] [17] [18].

**Figura 14 – input per jet gassoso**

Le variabili richieste per il flusso gassoso monofase sono quelle della Figura 14. Per dettagli posizionare il cursore sulla casella della variabile.

Il valore nella casella "Lunghezza del condotto di scarico" va lasciato a zero per forature o rotture. Nel caso di scarichi da un condotto di lunghezza non trascurabile (<1 o 2 m) si inserisce il valore per attivare la routine "GasOut" che ricalcola i parametri (temperatura, densità, ecc.) del fluido tenendo conto dell'espansione dello stesso nel condotto.

La casella "Riferito a center line" si spunta se si desidera che il calcolo termini quando la concentrazione sull'asse del jet raggiunge il valore inserito.

Terminato l'inserimento dei dati, per passare al calcolo occorre cliccare prima su "Applica" quindi su "Esegui"

<sup>3</sup> Il modello Te Riele calcola la dispersione di emissioni con sorgente a livello del suolo; viene avviato automaticamente solo quando l'asse del jet tocca il suolo, per cui, nel caso di emissioni di gas leggeri (densità inferiore all'aria) non verrà utilizzato. Per il calcolo di emissioni di gas leggeri si usano pertanto i codici AHuang o AAsme.

Per il caso di flusso bifase bisogna scegliere l'opzione "gas liquefatti" nel menù delle variabili generali (Figura 7): in tal caso la schermata per l'inserimento delle variabili del jet sarà diversa da quella di Figura 14, richiedendo l'inserimento della portata di efflusso e della densità media, come in Figura 15.

I valori di queste due variabili si possono ottenere applicando il modello di calcolo della portata di rilascio o con altri tipi di elaborazione; se non sono noti e non si hanno altri strumenti a disposizione possono essere stimati dal modello stesso inserendo il valore zero nelle caselle. Sono possibili le seguenti scelte:

- portata = 0, densità media del flusso nota: il modello calcola la portata bifase con il metodo proposto da Fauske [4] ed utilizzato anche per il modello AFLOW.
- portata = 0, densità media = 0 : il modello calcola la portata come in precedenza e la densità media con l'equazione II-1 proposta dal DIERS [86].

Non sono ammesse altre opzioni (quali portata nota e densità media non nota) per le quali è visualizzato un avviso di errore.

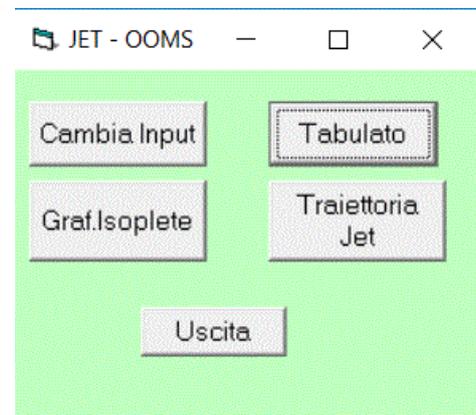
Ovviamente, se si modifica il coefficiente di efflusso ci saranno variazioni della portata e di altri parametri.

**Figura 15 – input per jet bifase**

Al termine del calcolo sarà visualizzata la finestra seguente, dalla quale si potrà scegliere cosa visualizzare e se stampare o cambiare valori di input.

Le opzioni di stampa e grafica, con esempi delle stampe e illustrazione delle sigle, sono riportati nel § 4.4.

Cliccando su "Uscita" si ritorna alla schermata di avvio iniziale (Figura 1).



### 3.3 EVAPORAZIONE (CODICE AEVA)

Calcola l'evaporazione di liquidi, liquidi surriscaldati e gas liquefatti da pozze su cemento, terreni vari, acqua e, **solo per gas liquefatti, ghiaia**. Per i gas liquefatti fornisce la frazione di flash e una stima delle dimensioni iniziali della nube di vapori. Fonti teoriche [1] [5] [6] [50] [101].

Dopo aver spuntato la casella corrispondente al tipo di rilascio si attivano le caselle per l'inserimento input. Il tempo di fine calcolo è una variabile imposta dall'utente per evitare di avere tabulati troppo lunghi. La casella "Modifica parametri substrato" permette di variare le caratteristiche del terreno o del pavimento.

**Figura 16 – input evaporazione Gas Liquefatti rilasci continui**

**Figura 17 – input evaporazione Gas Liquefatti rilasci istantanei**

La casella per l'inserimento della durata del rilascio non è attivata in quanto si assume il rilascio istantaneo.

**Figura 18 – input evaporazione liquidi**

*Si rileva che per il calcolo dell'evaporazione di liquidi non è utilizzabile l'opzione ghiaia.*

*Per l'evaporazione di liquidi si richiede anche la tensione di vapore, tuttavia, se non si conoscono i dati e si lascia a zero la variabile, il modello stima tale parametro [123] al fine di assicurare un calcolo di massima.*

*Per liquidi surriscaldati inserire il valore 99.000 Pa così il modello calcola anche il flash.*

In alcune opzioni del modello sono utilizzate caratteristiche del substrato che vengono fornite come "default": è tuttavia possibile cambiarle, adeguandole alla reale situazione se nota, cliccando sulla casella "Modifica parametri substrato".

Verrà aperta la seguente schermata.

**Figura 19 – menu modifica parametri substrato**

*Si possono cambiare tutti i parametri inserendo i valori nelle caselle, quindi occorre cliccare sulla casella "Applica" per salvare i dati, poi cliccare su "Chiudi" per tornare alla schermata precedente. Per riutilizzare i dati di default cliccare sulla casella "Torna a valori di default". Questi parametri sono utilizzati solo per il calcolo con gas liquefatti; i valori di default sono ripresi dalla fonte del modello e riferiti ad un tipo di terreno che potrebbe non corrispondere a quello reale, i dati del quale possono essere anche significativamente diversi, con ovvie variazioni nei risultati.*

Parametro	Valore
Densità terreno secco	1560
Calore specifico terreno (secco)	800
Frazione di limo/argilla nel terreno	0,5
Frazione di umidità nel terreno	0,3
Diffusività termica cemento	4,16E-07
Conducibilità termica cemento	0,92
Diffusività termica ghiaia	0,0000011
Conducibilità termica ghiaia	2,5

Buttons: Torna a valori di default, Applica, Chiudi

Per passare al calcolo occorre, come nei casi precedenti, confermare i valori cliccando su "Applica" e poi cliccare su "Esegui".

Al termine verrà visualizzata la schermata a destra, dalla quale è possibile eseguita la scelta cliccando sull'apposita finestra.

Buttons: Cambia Input, Tabulato, Uscita

### 3.4 IRRAGGIAMENTO (CODICE ARAD)

Calcola l'irraggiamento e/o la dose di calore per fenomeni stazionari (incendi di serbatoi o di pozze, jet fire o fiaccole) e transitori (fire ball) per liquidi, gas liquefatti o artifici pirotecnici.

Fonti teoriche [1] [7] [8] [9] [12] [13] [14] [50] [52] [103] [104] [105] [106] [107] [108] [109] [110] [111].

La schermata per l'inserimento delle variabili di calcolo contiene tutte le opzioni trattate dal modello, come illustrato sotto.

**Figura 20 – input modello irraggiamento**

Mettendo la spunta sulla casella a destra della tipologia di incendio (Pozza, FireBall, Torcia/Jetfire, Tank Fire, ecc.) si attivano le finestre per l'inserimento degli input specifici. Fanno eccezione le caselle in basso [Umidità relativa dell'atmosfera] e [Irraggiamento solare] che sono sempre attivate e vanno compilate con valori positivi. (L'irraggiamento solare è considerato nel caso di torce, dov'è sommato all'irraggiamento calcolato, e come limite di fine calcolo nel caso di incendi stazionari).

Non si usa la casella [Frazione di inquinante nei fumi] perché questo calcolo va fatto con i modelli di dispersione che sono più adatti.

Per la quasi totalità delle variabili da inserire il significato appare ovvio: il programma fornisce comunque un breve aiuto posizionando il cursore sopra alla casella corrispondente.

È opportuno rilevare che il modello di incendio stazionario (pool fire o tank fire) considera anche la riduzione dell'emissività connessa con la formazione di fumo: dalle sperimentazioni pubblicate tale riduzione aumenta con l'aumentare del diametro della pozza a causa della riduzione di comburente che si verifica all'interno della base di fiamme.

*Per l'incendio da pozza è inoltre possibile tener conto della presenza di schermature quali fabbricati o muri o argini che siano presenti nello spazio tra le fiamme e il bersaglio. Per usufruire di tale opzione occorre inserire l'altezza e la distanza dello schermo dal margine delle fiamme.*

*Nel calcolo si assume che la dimensione laterale – larghezza o lunghezza – sia tale da coprire l'ampiezza del fronte di fiamma, stimando la frazione della lunghezza di fiamma che è coperta e calcolando l'irraggiamento riferendosi alla parte di fiamma che resta visibile.*

*Nel caso non siano presenti schermi, ambedue i valori vanno posti a 0 (zero).*

Nella versione "Progettazione" è anche possibile:

- ↳ inserendo solo la distanza a cui si intende o è possibile realizzare uno schermo, ottenere la stima dell'altezza dello schermo e il corrispondente irraggiamento in funzione della distanza di calcolo dal margine delle fiamme (nella casella dell'altezza va inserito zero)
- ↳ inserendo solo l'altezza dello schermo (la larghezza deve comunque coprire la vista laterale delle fiamme), ottenere la distanza a cui tale schermo va posto per avere l'irraggiamento indicato alla distanza di calcolo dal margine delle fiamme.

L'illustrazione dei risultati è visibile al § 4.3

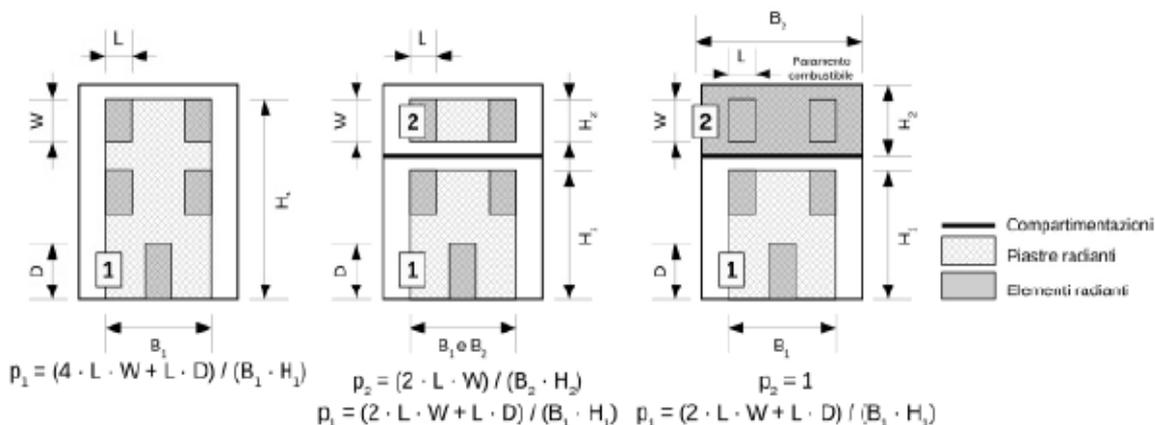
L'opzione "Aperture fabbricati" si riferisce alla metodologia esposta nel § 3.11 del D.M. Interno del 3/8/2015, reiterato nel 2019, per stimare la distanza di separazione (o di sicurezza) nel caso di incendio all'interno di un fabbricato nel quale vi siano delle aperture, quali porte o finestre o spazi vuoti, dalle quali si può avere irraggiamento.

Nel decreto sono fornite le definizioni e le indicazioni per tale calcolo, tuttavia si ritiene utile riassumere di seguito gli elementi principali.

Anzitutto è stabilito che l'irraggiamento (o la distanza di separazione) è **calcolata per un singolo lato, cioè va riferita** a una singola parete del fabbricato (definita piano radiante), all'interno della quale si identifica una "piastra radiante" costituita dalla superficie delle aperture (definite elementi radianti) da cui può esserci irraggiamento.

Nella figura seguente è illustrato questo concetto.

**Figura 21 – irraggiamento da fabbricati**



Il valore della "Superficie totale delle aperture" richiesto come input dev'essere la somma delle aperture riferite a un singolo compartimento, ossia la somma delle superfici degli elementi radianti.

La "larghezza fronte edificio" e la "altezza edificio" vanno riferite alla piastra radiante, cioè all'involuppo degli elementi radianti (parte tratteggiata nella figura soprastante).

Dato che la norma stabilisce che il rapporto tra la superficie totale degli elementi radianti e la superficie della rispettiva piastra radiante non può essere inferiore a 0,2 occorre eventualmente aggiustare i valori.  
 Diversamente va applicato un altro modello.

La norma indica come energia di soglia ( $E_{soglia}$ ) il valore di 12,6 kW/m<sup>2</sup>, tuttavia l'applicazione del metodo tabellare può fornire distanze riferite a soglie maggiori in quanto i valori delle tabelle sono approssimati.

Il modello, comunque, permette di ottenere l'irraggiamento riferito alla distanza dalla parete del fabbricato per distanze > 1 m dalla parete (la distanza di inizio calcolo è stimata in funzione della aperture) fino a l limite di 1 kW/m<sup>2</sup>.

Da rilevare che il modello considera due tipologie di incendio all'interno di fabbricati che si differenziano in funzione del carico d'incendio specifico del compartimento:  $q_f \leq 1200$  MJ/m<sup>2</sup> oppure  $q_f > 1200$  MJ/m<sup>2</sup>, per cui è necessario calcolare tale parametro come specificato nel § S.2.9 del codice di prevenzione incendi tenendo conto dei vari parametri che contribuiscono alla sua determinazione.

L'incendio di articoli pirotecnici è valutato in funzione della classificazione ADR degli articoli. La seguente Figura propone la schermata per l'inserimento di input per incendio di prodotti rientranti nella divisione ADR 1.4.

**Figura 22 – input per irraggiamento artifici pirotecnici**

Per le variabili da inserire, dato che tra gli articoli pirotecnici c'è una vasta gamma di preparati per i quali sono ipotizzabili fenomeni che vanno dall'incendio all'esplosione, si riportano di seguito alcuni utili elementi.

Per gli artifici che rientrano nella classificazione UN/ADR divisione 1.3 e divisione 1.4 il fenomeno atteso è analogo al fireball [107]. Le definizioni fornite della medesima fonte e basate sui test predefiniti sono:

**rientrano nella divisione 1.3 gli artifici pirotecnici che originano:**

- ✦ un fireball o un jetfire che si estende oltre gli schermi di prova,
- ✦ un'emanazione infuocata per più di 15 m dal bordo della sostanza non confezionata o dalle sostanze confezionate,
- ✦ una velocità di combustione inferiore a 35 s per 100 kg di massa netta di materiale. In alternativa, nel caso di articoli e di sostanze a bassa energia, il parametro è un irraggiamento che superi quello della fiamma impiegata per accendere il campione per più di 4 kW/m<sup>2</sup> alla distanza di 15 m (per una durata di 5 s).

**Rientrano invece nella divisione 1.4 quando:**

- ✦ si ha un fireball o un jetfire che si estende per più di 1 m dalle fiamme del fuoco di test,
- ✦ si ha una emanazione infuocata per più di 5 m dal bordo della sostanza non confezionata o dalle sostanze confezionate,
- ✦ si ha una scalfittura più profonda di 4 mm negli schermi di prova,

- ✦ si ha una proiezione di schegge di energia superiore a 8 J a distanze superiori a quelle indicate nella figura 16.6.1.1 del documento citato,
- ✦ una velocità di combustione inferiore a 330 s per 100 kg di massa netta di materiale.

Precisato che il termine jet fire si riferisce più esattamente ad un transient jet fire, cioè ad un jet non stazionario che può perdurare per tempi dell'ordine da uno ad alcuni minuti, la valutazione dell'irraggiamento dato dalla combustione di questi prodotti viene effettuata riferendosi ad un fire ball per gli artifici della divisione 1.3 e ad un jet fire per la divisione 1.4.

Le dimensioni dell'eventuale cumulo di prodotti sono computabili anche nel caso in cui vi siano limitate separazioni tra cumuli (per esempio se i prodotti sono su pallet separati tra loro da distanze dell'ordine inferiore al metro, che non impediscono la propagazione delle fiamme).

Per effettuare il calcolo cliccare sempre prima su "Applica" e poi su "Esegui".

Anche per questo modello, la scelta dell'output è fatta cliccando sull'apposita casella della schermata a destra (la casella flash fire è inibita in quanto si usano le distanze previste dalla normativa vigente (LFL e 50%LFL).



### **3.5 DISPERSIONE**

Nel programma S.T.A.R. sono disponibili svariati e diversi modelli allo scopo di consentire una più accurata e realistica simulazione dei molteplici scenari che possono essere ipotizzati; la scelta del modello risulta importante per ottenere risultati rappresentativi, specialmente nel caso di alcune sostanze e di particolari scenari.

È il caso dell'ammoniaca anidra, i cui vapori alla temperatura ambiente hanno densità inferiore all'aria. È stato dimostrato con filmati [112] e calcoli [113] che la nube di vapori sviluppata inizialmente da un rilascio si comporta come un gas pesante, cioè a densità maggiore dell'atmosfera, fino a che la diluizione ed il riscaldamento connesso alla miscelazione con l'aria ed al contatto con il terreno comportano il ritorno alla densità dei vapori inferiore all'aria.

Similmente avviene per rilasci di metano liquefatto o GNL (gas naturale liquefatto), mentre nel caso dell'acido fluoridrico i vapori sviluppati inizialmente sono soggetti ad una polimerizzazione, funzione della temperatura e dell'umidità dell'atmosfera, che ne aumentano il peso molecolare, tornando poi alle condizioni normali con la diluizione in aria.

Questi comportamenti sono considerati da alcuni dei modelli presenti nel software S.T.A.R. indicati nella tabella riassuntiva riportata nel seguito.

La necessità di generalizzare una molteplicità di scenari, allo scopo di rappresentare una vasta gamma di casi ipotizzabili, ha tuttavia comportato alcune semplificazioni ed assunzioni che possono non sempre fornire risultati ottimali per scenari particolari, quindi è consigliabile verificare il comportamento del modello scelto con riferimento alle validazioni ed eventualmente ripetere il calcolo con un altro dei modelli contenuti in S.T.A.R.

Per utenti meno esperti è stata concepita l'opzione "calcolo automatico", che lascia al sistema la scelta del modello in base a valori di default.

La scelta del modello da usare va fatta in base sia alle caratteristiche della sostanza, in particolare densità dei vapori e temperatura di ebollizione, sia in funzione dei parametri di sorgente (in particolare temperatura di rilascio, velocità, quota e durata dell'efflusso) e sia tenendo conto delle condizioni al contorno (velocità del vento, stabilità atmosferica, rugosità e/o presenza di ostacoli alla libera propagazione dell'inquinante).

Tra i fenomeni che caratterizzano la dispersione nell'atmosfera ci sono la deposizione (secca e umida) e il decadimento, o combinazione con altre sostanze.

Le sostanze aggressive, per esempio, a contatto con la vegetazione reagiscono danneggiando il vegetale; ciò comporta anche una riduzione della concentrazione in atmosfera della sostanza stessa. Con l'umidità dell'aria si possono formare gocce o aerosol che tendono a ricadere, con

altre sostanze presenti nell'atmosfera si possono formare composti più stabili che, in genere, sono meno aggressivi, mentre le radiazioni presenti nell'atmosfera (ultraviolette, infrarosse, ecc.) modificano chimicamente alcune sostanze degradandole.

Riguardo alla deposizione, invece, nel software S.T.A.R. non sono ancora inserite relazioni che permettono di tener conto della precipitazione di inquinanti. Va osservato, comunque, che tale fenomeno caratterizza emissioni o rilasci di sostanze con dimensioni delle particelle maggiori di 0,1 µm e diventa significativo con l'aumentare di tali dimensioni. È importante specialmente nella previsione dell'inquinamento determinato dalle polveri sottili (PM 2,5 e superiori) o da ricadute di fumi provenienti da sorgenti radiogene.

S.T.A.R. è concepito per scenari di incidente rilevante che in prevalenza considerano emissioni o rilasci di gas o vapori per tempi brevi e in gran parte aggressivi, per cui l'effetto di deposizione o precipitazione appare modesto.

Le variabili di input sono per lo più le stesse, differenziandosi solo per tener conto delle caratteristiche del modello, e sono visibili nelle figure riportate nel seguito.

Data la varietà e molteplicità dei modelli si espongono anzitutto le principali caratteristiche con le indicazioni per la scelta in funzione dello scenario.

**Tabella 3 – riassunto modelli per dispersione atmosferica**

Modello/codice	Uso/descrizione
Sorgenti puntiformi/AHuang	<i>Emissioni da sorgenti di piccola dimensione situate a livello del suolo (sfati, finestre o aperture di dimensioni limitate, poste a quote massime di qualche metro dal suolo). Adatto anche per vapori più pesanti dell'aria. Può tener conto della presenza di fabbricati o, in alternativa, di cortine d'acqua.</i>
Rilasci continui/ADCM Crunch	<i>Si usa per rilasci continui di gas liquefatti con portata stazionaria e densità maggiore dell'aria. Può tener conto della presenza di cortine d'acqua, di variazioni della rugosità e di fabbricati o argini.</i>
Rilasci istantanei/ADCM Denz	<i>È la versione per rilasci istantanei o di durata molto breve (max qualche minuto) di gas liquefatti con densità maggiore dell'aria. Può tener conto di variazioni della rugosità e della presenza di fabbricati o argini.</i>
Rilasci continui/ AHega	<i>Concepito per calcolare le concentrazioni sviluppate dall'evaporazione, anche con flash, di pozze di gas liquefatti o liquidi. Può tener conto della presenza di cortine d'acqua e di fabbricati o argini (non di variazioni della rugosità).</i>
Sorgenti lineari/AHuang	<i>Simula la dispersione di vapori sviluppati da pozze con basso rateo di evaporazione (&lt;0,05 kg/s· m<sup>2</sup>) idealizzando la sorgente come una linea a quota del suolo. Può tener conto di variazioni della rugosità, della presenza di fabbricati o argini e di cortine d'acqua. Considera decadimento sostanza (depletion)</i>
Ricadute fumi di combustione da incendi esterni a fabbricati / AHuang	<i>Calcola le concentrazioni di sostanze tossiche contenute nei fumi di combustione di pozze situate all'aperto o sotto tettoia; per pozze all'aperto può tener conto della presenza di fabbricati adiacenti.</i>

Modello/codice	Uso/descrizione
Ricadute fumi di combustione da incendi interni a fabbricati / AAsme	<i>Simula la dinamica di formazione fumi sviluppati da un incendio all'interno di un fabbricato e calcola la dispersione di sostanze tossiche contenute nei fumi emessi dalle aperture del fabbricato. Considera decadimento e per incendi anche deposizione</i>
Emissioni istantanee/AISTNO	<i>Calcola le concentrazioni per emissioni istantanee o molto brevi (da valvole di sicurezza o dischi di rottura) o da rilasci istantanei di gas in quota (sfiati, ecc.)</i>
Emissioni continue da camini	<i>Sono disponibili due modelli: AHuang (non gaussiano che considera anche la presenza di fabbricati e il fenomeno del downwash) e AAsme (gaussiano) per calcolare le concentrazioni di inquinanti emessi da camini o sfiati.</i>
Nebbie da torri di raffreddamento	<i>Stima la formazione e ricaduta di nebbie connesse alle emissioni di vapor d'acqua da torri di raffreddamento</i>

Alcuni di questi modelli sono collegati ad un programma di calcolo dell'efficienza o efficacia di cortine d'acqua che fornisce la misura della riduzione delle concentrazioni assicurata da un sistema realizzato secondo determinate specifiche, cioè prevedendo ugelli di tipo predefinito con flusso dall'alto verso il basso o dal basso verso l'alto.

L'applicazione di questo programma è pertanto corretta solo se l'impianto delle cortine è realizzato secondo tali specifiche. I dettagli progettuali che assicurano la conformità a tali specifiche non fanno parte del software S.T.A.R. tuttavia si forniscono di seguito le principali indicazioni per l'applicazione del programma di calcolo.

- *Per cortine con getto dal basso verso l'alto ed ugelli di tipo conico si richiede che gli ugelli siano posizionati a livello del suolo oppure va previsto un muretto o argine a monte od a valle degli ugelli.*
- *L'asse del getto degli ugelli dev'essere leggermente inclinato verso la sorgente di emissione.*
- *La distanza tra la sorgente e la cortina d'acqua deve permettere l'entrata a regime della cortina prima che i vapori dell'inquinante arrivino a contatto con la cortine; in caso diverso ci sarà un transitorio in cui i vapori oltrepassano la cortina prima che questa entri in funzione.*

Le variabili richieste per l'uso del programma sono illustrate nel seguito; ulteriori dettagli sulle caratteristiche progettuali delle cortine d'acqua sono forniti con la versione 4.4.P.

Per quanto riguarda l'uso della routine che tiene conto delle variazioni di rugosità sul percorso dei vapori, essa può essere utilizzata solo se le variazioni di rugosità comportano un aumento della turbolenza (i valori della rugosità devono essere crescenti).

Riguardo alla presenza di fabbricati (argini, fabbricati, impianti, ecc.) la simulazione risulta efficace se tali ostacoli sono situati nell'area circostante la sorgente (il programma confronta comunque l'altezza e la larghezza della nube con le dimensioni dell'ostacolo, eseguendo il calcolo solo nel caso in cui l'influenza dell'ostacolo sia non trascurabile).

Tutti i modelli per rilasci o emissioni continue richiedono tra le variabili il tempo di riferimento per la media (della concentrazione), cioè il tempo di esposizione stimato: per avere risultati congruenti con l'analisi di rischio occorre considerare che questo valore dev'essere lo stesso utilizzato per il calcolo delle concentrazioni associate alle soglie di danno. 30 minuti è il valore di default; a tempi inferiori corrispondono valori di concentrazione leggermente più alti (perché si fa riferimento ai valori di picco). Per gli infiammabili si può usare il valore di 5 minuti.

### 3.5.1 SORGENTI PUNIFORMI CONTINUE A QUOTA DEL TERRENO (CODICE AHUANG)

Si usa per emissioni stazionarie di durata maggiore di alcuni minuti a quota del terreno o poco più (in genere fino ad alcuni metri di quota dal suolo). È basato sulla teoria della distribuzione verticale non gaussiana delle concentrazioni, quindi è adatto a simulare anche emissioni di vapori con densità maggiore dell'aria. Non si usa quando c'è flash o nubi con quantità significative di vapori. Fonti teoriche [20] [70] [88].

**Figura 23 – input dispersione sorgente puntiforme continua**

L'altezza della sorgente deve essere maggiore della rugosità. In caso sia inserito un numero inferiore è aggiunto automaticamente 0,01 m per evitare errori. Ciò si traduce in concentrazioni maggiori, quindi distanze più ampie riferite alle soglie, anche se nel tabulato di calcolo sarà stampato il dato inserito; per

avere sulla stampa il dato usato nel calcolo si consiglia di inserire un'altezza maggiore della rugosità (anche solo di 0,01 m in più) oppure rivedere il dato della rugosità.

L'opzione "Deve essere gestito il Modello delle Cortine" è alternativa alla "Presenza fabbricato", per cui scegliendone una si disabilita automaticamente l'altra. Per scegliere spuntare la casella.

Per inserire i dati di input delle Cortine d'acqua occorre cliccare su **Dati Cortine >** Verrà visualizzato il Menu specifico per le spiegazioni del quale si rinvia al § 3.5.12.

Per l'opzione "Presenza fabbricato" si rinvia al § 3.5.11.

Per passare al calcolo si usa sempre la procedura di confermare i dati cliccando su "Applica", quindi avviare il modello cliccando su "Esegui".

Per ritornare alla schermata dei dati di base cliccare sulla casella "<Dati di base"; in questo caso, se sono già state inserite variabili il programma chiederà se si desidera salvarle (Fig. 19).

### 3.5.2 RILASCIO CONTINUO STAZIONARIO – MODELLO CRUNCH (CODICE ADCM)

È un modello di tipo BOX che calcola la concentrazione di inquinanti con densità maggiore dell'aria per rilasci stazionari di durata maggiore di alcuni minuti. Si usa per gas liquefatti rilasciati a livello del suolo e fornisce, oltre alla concentrazione in funzione della distanza sottovento, la distanza a cui sono attesi i limiti di infiammabilità, la massa di gas compressa nel campo di infiammabilità. Può tener conto della presenza di fabbricati od ostacoli di rilievo situati sottovento inserendo le apposite variabili. Fonti teoriche [23] [24] [31] [98].

**Figura 24 – input modello rilascio continuo gas pesanti**

Mettendo la spunta nella casella **'Parametri di rugosità'** si attivano le finestre per inserire valori diversi di rugosità (sempre crescenti in funzione della distanza a cui cambia) e la relativa distanza (per chiarimenti vedere § 3.5.11). Spuntando invece la casella **'Presenza fabbricato'** si inseriscono le

045 PROPANO - modello: Rilascio continuo stazionario - modello Crunch

Altezza della sorgente [m] 2.1

Larghezza pozza o sorgente [m] 6

Portata dell'inquinante [kg/s] 2.5  Deve essere gestito il Modello delle Cortine

Concentrazione peso dell'inquinante [kg/kg] 1

Tempo di riferimento per la media [min] 15

Passo di calcolo sull'asse Y [m] 25

Quota di calcolo [m] 1.5

Concentrazione di fine calcolo [ppm] 1000

Parametri di rugosità

Distanza a cui varia la rugosità [m] 0

II° parametro di rugosità [m] 0

Distanza a cui varia la rugosità [m] 0

III° parametro di rugosità [m] 0

Presenza fabbricato

Distanza fabbricato da sorgente [m] 11

Altezza fabbricato [m] 12

Larghezza fabbricato [m] 13

Esegui Applica < Dati di base Dati Cortine > Chiudi

inserisci o aggiorna i dati relativi al modello Crunch

variabili che permettono di tener conto di schermi quali muri, argini, ecc. i quali possono comportare accumulo di gas a monte degli stessi e riduzione delle concentrazioni a valle (per ulteriori informazioni vedere § 3.5.11). Per passare al calcolo confermare con "Applica", poi cliccare su "Esegui". Durante il calcolo, se la

WinStar

La concentrazione è < al 30% del LFL: si desidera continuare? (S/N)

Si No

sostanza è infiammabile viene visualizzata la finestra a sinistra, che permette di terminare il calcolo. Per le cortine d'acqua vedere il § 3.5.12.

Al termine sarà visualizzata la schermata a destra: le opzioni attivate sono visualizzate in neretto (il codice Flash Fire è disattivato perché le distanze di soglia sono ricavate dalla dispersione, come dai decreti linee guida).

ADCM

Cambia Input Tabulato

Graf. Isoplete Grafico X-Y

Flash Fire Cortine

Uscita

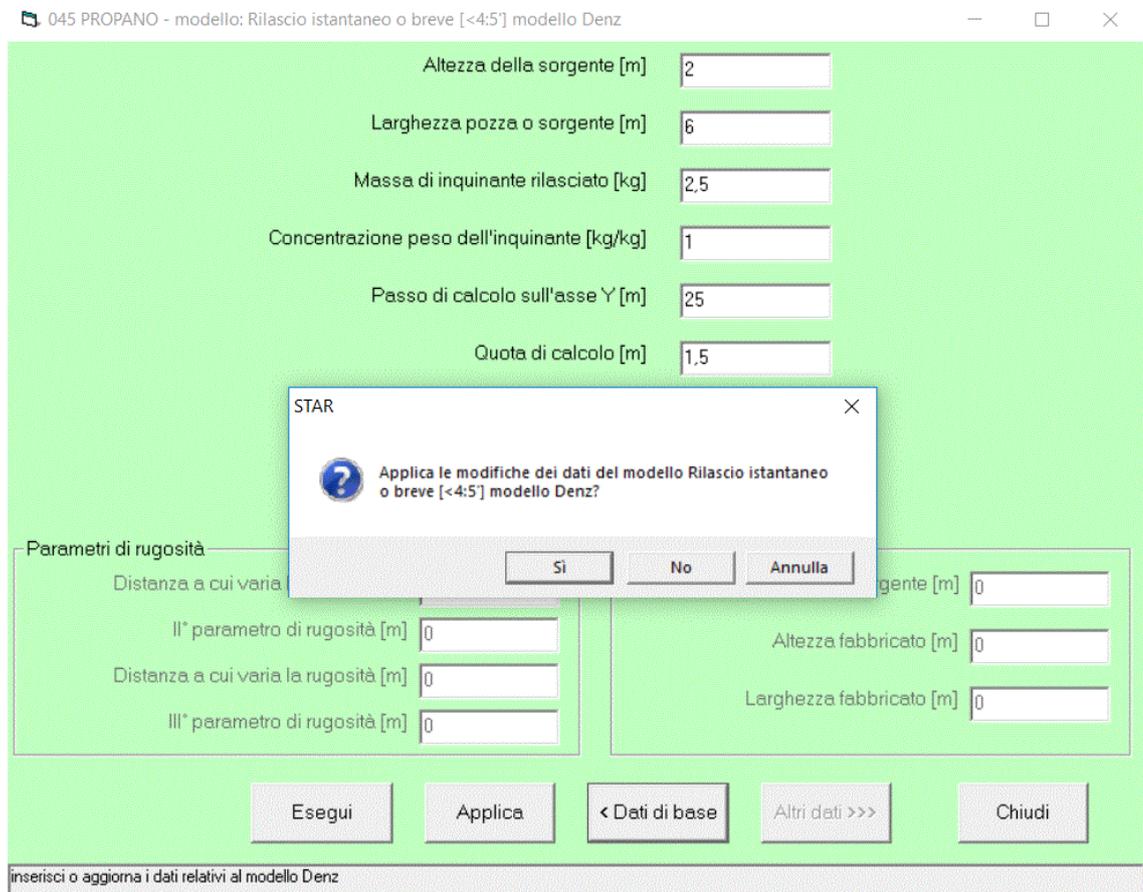
### 3.5.3 RILASCIO ISTANTANEO O BREVE – MODELLO DENZ (CODICE ADCM)

Si tratta di un modello analogo al precedente che va usato quando il rilascio è istantaneo o limitato a qualche minuto; oltre agli stessi risultati del modello precedente, fornisce la persistenza (o durata) delle concentrazioni in funzione della distanza per la fase non gravitazionale. Fonti teoriche [22] [24] [25] [30] [98].

La schermata di inserimento input rimane la stessa del modello precedente, variando solo il termine "Portata" che diventa "Massa" perché si simula un rilascio istantaneo.

Nella Figura seguente è illustrata la schermata per questo modello (Denz) con la finestra di avviso che si attiva, per tutti i Menù, quando si clicca sulla casella < Dati di base o su Esegui prima di aver confermato i dati inseriti cliccando su Applica

**Figura 25 – input per dispersione di rilasci istantanei o brevi con gas pesanti**



Non è attiva l'opzione per le cortine d'acqua perché si ritiene che il tempo di azionamento di questi sistemi sia in genere superiore al tempo di sviluppo del flash o comunque di un rilascio pressoché istantaneo.

### 3.5.4 RILASCI CONTINUI GAS/VAPORI PESANTI DA POZZA (CODICE AHEGA)

Calcola la concentrazione di vapori pesanti sviluppati da pozze di liquidi o gas liquefatti in funzione della distanza. Fornisce inoltre la distanza relativa ai limiti di infiammabilità e la massa di gas compresa nel campo di infiammabilità. È consigliato soprattutto quando l'eventuale flash non è significativo o nel caso di alti ratei di evaporazione da pozze. Fonti [26] [27] [28] [29]

**Figura 26 – input dispersione rilasci continui di gas pesanti da pozza**

419 GNL GAS NATURALE LIQ.#4 - modello: Continuous release of dense gas/vapour from pool(HeGaDAS)

Lunghezza pozza o sorgente [m]	<input type="text" value="2,5"/>	<input type="checkbox"/> Deve essere gestito il Modello delle Cortine
Larghezza pozza o sorgente [m]	<input type="text" value="5,5"/>	
Portata dell'inquinante [kg/s]	<input type="text" value="66"/>	
Concentrazione peso dell'inquinante [kg/kg]	<input type="text" value="1"/>	
Tempo di riferimento per la media [min]	<input type="text" value="5"/>	
Passo di calcolo sull'asse Y [m]	<input type="text" value="25"/>	
Quota di calcolo [m]	<input type="text" value="1,5"/>	
Concentrazione di fine calcolo [ppm]	<input type="text" value="20000"/>	

Presenza fabbricato

Distanza fabbricato da sorgente [m]

Altezza fabbricato [m]

Larghezza fabbricato [m]

Inserisci o aggiorna i dati relativi al modello HeGaDAS

*La sola variabile diversa, rispetto al modello box "Crunch" è la lunghezza della pozza.*

*La presenza di fabbricati, argini o altri ostacoli alla libera propagazione del gas può essere considerata con la spunta della corrispondente casella ed inserendo le variabili richieste (per dettagli vedere § 3.5.11). Non è invece possibile inserire variazioni della rugosità (questa opzione non era attivata neanche nelle versioni precedenti, pur se nel menù apparivano le caselle per inserimento input).*

*Se si desidera effettuare successivamente il calcolo dell'efficienza di cortine d'acqua occorre spuntare la casella "Deve essere gestito il Modello delle Cortine": in questo caso, nella parte inferiore della schermata si attiverà la casella ">Dati cortine" (vedere § 3.5.12).*

Per passare al calcolo cliccare sulla casella "Applica" e poi su "Esegui".

### 3.5.5 SORGENTI LINEARI QUOTA TERRA O POZZE (CODICE AHUANG)

Basato sulla teoria descritta per sorgenti "puntiformi" (§ 3.5.1), integrata dalla trattazione per sorgenti lineari proposta in<sup>4</sup>.

*È applicabile alla dispersione di vapori o gas o polveri aeriformi emessi da sorgenti a quota del suolo (fino a quota uomo) le quali possano essere idealizzate in un'emissione lineare (per esempio una strada, una trincea o anche una pozza per la quale si possa considerare l'emissione distribuita su una linea di dimensioni pari al diametro o al lato perpendicolare alla direzione del vento). Il limite di applicazione è dato dal rateo di evaporazione che dev'essere  $\leq 0,05 \text{ kg}/(\text{s} \cdot \text{m}^2)$ . [Nel caso di emissioni non da pozze evaporanti, la verifica di questo limite si può fare assimilando l'emissione ad una pozza circolare con diametro pari alla larghezza o dimensione trasversale alla direzione del vento].*

Fornisce la concentrazione dell'inquinante in funzione della distanza e, per sostanze infiammabili, la distanza a cui è atteso il limite inferiore di infiammabilità (LFL), il 50% del LFL e la massa di sostanza presente entro il campo di infiammabilità. Fonti teoriche [20] [70] [88]. Menù input seguente.

**Figura 27 – input dispersione da sorgenti lineari**

010 ALCOOL METILICO - modello: Sorgenti lineari quota terra o pozze (rateo <0.05 kg/m²s)

Altezza della sorgente [m]

Larghezza pozza o sorgente [m]

Portata dell'inquinante [kg/s]   Deve essere gestito il Modello delle Cortine

Concentrazione peso dell'inquinante [kg/kg]

Tempo di riferimento per la media [min]

Passo di calcolo sull'asse Y [m]

Quota di calcolo [m]

Concentrazione di fine calcolo [ppm]

Parametri di rugosità

Distanza a cui varia la rugosità [m]

II\* parametro di rugosità [m]

Distanza a cui varia la rugosità [m]

III\* parametro di rugosità [m]

Presenza fabbricato

Distanza fabbricato da sorgente [m]

Altezza fabbricato [m]

Larghezza fabbricato [m]

Inserisci o aggiorna i dati relativi al modello Sorgenti Lineari

<sup>4</sup> Workbook of atmospheric dispersion estimates – D.B. Turner – NTIS – USA 1970

*L'altezza della sorgente dev'essere maggiore del parametro di rugosità (se si inserisce un valore  $\leq$  il modello corregge automaticamente aggiungendo 0,01 m per evitare errori matematici).*

*È possibile usare le opzioni cortine d'acqua, variazioni di rugosità (crescenti) e presenza di fabbricati.*

*Il modello è stato validato per sostanze infiammabili con parametri di rugosità ridotti (dell'ordine di 0,1 m) ed altezze della sorgente limitate ( $\leq 0,1$  m). Data la distribuzione di concentrazione su cui si basa il modello, un aumento del parametro di rugosità e conseguente aumento dell'altezza sorgente comporta aumento dell'approssimazione e diminuzione delle concentrazioni nelle brevi distanze.*

### 3.5.6 RICADUTA FUMI DI COMBUSTIONE - INCENDI LIBERI (CODICE AHUANG)

Il modello di calcolo è basato sulla teoria usata per il codice descritto al § 3.5.11 integrata dalla trattazione sviluppata e proposta da Mills e DeFaveri [20] [72] [74] e [118] .

La maschera di inserimento input è la seguente.

**Figura 28 – input ricadute da incendi liberi**

*I dati relativi all'altezza di fiamma ed al rateo di combustione vanno ricavati dal modello irraggiamento (ARad). La portata di inquinante va calcolata in base alla stechiometria o tratta da fonti sperimentali. La sostanza che brucia si sceglie mediante il menu a tendina sulla destra (casella "Sostanza che alimenta la combustione").*

*È possibile tener conto di casi in cui l'incendio avviene sotto una tettoia spuntando la casella corrispondente (l'altezza di fiamma sarà pari a quella della tettoia); in alternativa si può considerare la presenza di fabbricati adiacenti che influiscono sulla turbolenza del sito e sulla diluizione dei fumi (per dettagli vedere i chiarimenti sull'inserimento dati al § 3.5.11).*

### 3.5.7 RICADUTA FUMI DI COMBUSTIONE - INCENDI ALL'INTERNO DI FABBRICATI (CODICE AASME)

Stima delle concentrazioni attese a seguito di incendi all'interno di fabbricati (magazzini o capannoni), calcolando lo sviluppo e la temperatura dei fumi in funzione delle aperture del fabbricato e le concentrazioni esterne in funzione della distanza. Fonti teoriche [72] [73] [74] [76]. Menù di input nella figura seguente.

**Figura 29 – input ricadute da incendi in fabbricati**

041 OSSIDO DI CARBONIO - modello: Incendi all'interno di fabbricati

Altezza della fiamma [m]	10
Superficie in fiamme [m <sup>2</sup> ]	5,2
Frazione ponderale dell'inquinante nei fumi	0,4914
Rateo di combustione [kg/m <sup>2</sup> s]	0,055
Tempo di riferimento per la media [min]	30
Passo di calcolo sull'asse Y [m]	25
Quota di calcolo [m]	1,5
Concentrazione di fine calcolo [ppm]	1
Altezza del fabbricato [m]	10
Superficie del fabbricato [m <sup>2</sup> ]	1000
Superficie di ingresso aria [m <sup>2</sup> ]	20
Area di sfogo dei fumi [m <sup>2</sup> ]	30
Sostanza che alimenta la combustione	ACETALDEIDE *

Esegui    Applica    < Dati di base    Altri dati >>>    Chiudi

Inserisci o aggiorna i dati relativi al modello Incendi all'interno di Fabbricati

Se la sostanza che brucia è un liquido i dati sull'altezza di fiamma e rateo di combustione sono ricavabili dal modello ARad per l'irraggiamento, altrimenti occorre stimarli in base a dati di letteratura<sup>5</sup> (per solidi viene suggerito un rateo max intorno a 0,025 kg/m<sup>2</sup>·s, ma per l'altezza di fiamma occorre una stima empirica). La frazione di inquinante è ricavabile dalla stechiometria della combustione considerando che solo una frazione dei componenti la molecola si trasforma in sostanze tossiche<sup>6</sup>.

<sup>5</sup> Vedere tabella in Appendice

<sup>6</sup> Per indicazioni vedere anche:

Nella linea guida "HID – Safety Report Assessment Guide – Chemical Warehouses Hazards – 2002" dell'Ente britannico HSE è fornita la seguente relazione:

$$fQ = \frac{cf \cdot Np \cdot Mwt_c}{Nc \cdot Mwt_p} \text{ dove}$$

fQ = kg di tossico prodotto per kg di combustibile bruciato

cf = fattore di conversione

Np = atomi dell'elemento che origina la sostanza tossica

Mwtc = peso molecolare della sostanza tossica

Nc = atomi dell'elemento che origina i prodotti di combustione

Mwtp = peso molecolare del combustibile

Il fattore di conversione cf viene dato per alcune sostanze tipiche nella stessa linea guida.

**Tabella 4**

Element	Conversion fraction
<b>Chlorine to HCl</b>	<b>0.95</b>
<b>Sulphur to SO2</b>	<b>1</b>
<b>Nitrogen to HCN</b>	<b>0.05</b>
<b>Nitrogen to NO2</b>	<b>0.05</b>
<b>Carbon to CO</b>	<b>0.05</b>

Va rilevato che le combustioni all'interno di ambienti chiusi o con poche aperture comportano sempre un difetto di ossigeno, del quale occorre tener conto nella determinazione dei prodotti della combustione.

*Di ciò si deve tener conto nella valutazione della superficie delle aperture per l'entrata dell'aria e per l'uscita dei fumi: questi dati comportano variazioni anche notevoli nei risultati (ad esempio, per incendi in fabbricati chiusi l'entrata aria è molto ridotta e l'uscita fumi, salvo presenza di evacuatori di fumo dei quali siano note le caratteristiche, avviene da fessure o con la rottura di finestrate a causa del calore), per cui si consiglia di effettuare alcune simulazioni valutando la congruenza dei risultati.*

Confermati i dati ed avviata l'esecuzione, al termine dell'elaborazione sarà visualizzata la solita schermata di scelta dalla quale è possibile scegliere la visualizzazione o la stampa dei risultati in forma tabellare o grafica.

\* A summary of NBS literature reviews on the chemical nature and toxicity of the pyrolysis and combustion products from seven plastics: ABS, nylons, polyesters, polyethylene, polystyrenes, PCV and rigid polyurethane foams – Fire and Materials vol. 11 143-157 (1987)

\* "The prediction of combustion product" – Fire research, 1 (1977) 11-21; "Criteria and methods for evaluation of toxic hazards" – Fire Safety Journals, 12 (1987) 179-182; "A methodology for obtaining and using toxic potency data for fire hazard analysis" - Fire Safety Journals, 31 (1998) 345-358.

### 3.5.8 EMISSIONI ISTANTANEE O BREVI (CODICE AISTNO)

Basato sulla formulazione del TNO olandese, calcola la concentrazione a terra di inquinanti nel caso di rilasci o emissioni di breve durata (qualche minuto). Si usa per sfiati brevi da valvole di sicurezza (che si possono richiudere dopo aver sfiatato la sovrappressione) o per emissioni molto brevi e fornisce la concentrazione in funzione della distanza. Fonti teoriche [1] [88]

L'inserimento input avviene mediante la schermata seguente.

**Figura 30 – input per dispersione istantanea**

Indicazioni sono contenute nel HELP in linea.

Già dalla versione 4.5.5, invece di introdurre la velocità di efflusso, si richiede la durata: la velocità è calcolata dal modello.

### 3.5.9 NEBBIE DA TORRI DI RAFFREDDAMENTO (CODICE AASME)

Il vapor d'acqua che si sviluppa dalle torri di raffreddamento può formare nebbie che ricadono al suolo comportando problemi di visibilità e ghiaccio. Questo modello permette di valutare se tali nebbie si formano e indica la distanza alla quale ricadono al suolo.

Pur non rientrando nel campo specifico dell'analisi dei rischi di incidente rilevante, oltre che essere uno strumento utile nella scelta della posizione ove realizzare torri di raffreddamento, permettendo anche di ottimizzare alcuni parametri di progettazione, può essere utilizzato nel settore della pianificazione per predisporre adeguate misure onde evitare la formazione di tratti ghiacciati su strade o autostrade interessate dalla ricaduta. Fonti teoriche [70] [96]

Le variabili richieste, oltre ai dati generali meteorologici, sono l'altezza della torre, il diametro della sorgente di emissione dei vapori e la portata degli stessi.

### 3.5.10 MODELLI DI RICADUTA GAUSSIANI (CODICE AASME)

La teoria gaussiana utilizzata per la stima delle concentrazioni connesse con emissioni da camini (Fonti teoriche [70]) è alla base di 5 opzioni di utilizzo, che servono a determinare:

- a)** i picchi massimi di concentrazione attesa per le sei classi di stabilità atmosferica standard
- b)** la concentrazione in funzione della distanza sottovento per una condizione predefinita di velocità del vento e stabilità atmosferica
- c)** la concentrazione in un punto sottovento all'emissione di cui sono note le coordinate
- d)** l'andamento delle concentrazioni per varie velocità del vento in funzione della stabilità
- e)** le concentrazioni a lungo termine per settori del quadrante della rosa dei venti (note le condizioni di vento e stabilità)

Le diverse schermate per l'inserimento delle variabili di input sono fornite nell'ordine, di seguito. In tutte queste opzioni il diametro della sorgente è immesso con il menù dei dati generali (vedere Figura 7).

**Figura 31 – input dispersione (conc. max – conc. vs stabilità)**

*Per le opzioni a) e d) sono sufficienti i parametri richiesti nella schermata soprastante, in quanto si tratta di una stima di massima che in genere è utile per verificare se le concentrazioni superano certi livelli.*

Per una simulazione più completa si sceglie l'opzione b) per la quale sono richiesti i parametri elencati nella schermata della figura seguente.

**Figura 32 – input dispersione (conc. vs distanza)**

013 ANIDRIDE SOLFOROSA - modello: Ricaduta in funzione della distanza

Altezza della sorgente [m]	<input type="text" value="183"/>
Portata dell'inquinante [kg/s]	<input type="text" value="4,11"/>
Portata globale [Nm <sup>3</sup> /h]	<input type="text" value="2430000"/>
Tempo di riferimento per la media [min]	<input type="text" value="60"/>
Passo di calcolo sull'asse Y [m]	<input type="text" value="25"/>
Quota di calcolo [m]	<input type="text" value="0"/>
Concentrazione di fine calcolo [ppm]	<input type="text" value="0,1"/>

Esegui    Applica    < Dati di base    Altri dati >>>    Chiudi

inserisci o aggiorna i dati relativi al modello ASME - Ricaduta in funzione della distanza

La portata globale va inserita in Nm<sup>3</sup>/h: se il flusso emesso è costituito da un inquinante puro (concentrazione 100%) si stima con riferimento alla densità del gas inserita nel file .PRO dell'inquinante; se si tratta di miscela occorre valutare la densità della miscela.

Quanto l'inquinante è in concentrazioni ridotte in miscela con aria (è il caso comune nella valutazione di ricadute da camini) si può riferirsi alla densità dell'aria, mentre se la miscela è composta da altre frazioni di inquinanti in aria si calcola la densità media.

Questo parametro è utilizzato sia per il calcolo della velocità di efflusso, sia per quello della concentrazione attesa, per cui un valore non corretto o non congruente può portare anche ad errori significativi nei risultati (vedere 3.5.11).

**Figura 33 – input dispersione (conc. in un punto)**

013 ANIDRIDE SOLFOROSA - modello: Concentrazione in un punto di coordinate note

Altezza della sorgente [m] 183

Portata dell'inquinante [kg/s] 4.11

Portata globale [Nm<sup>3</sup>/h] 2430000

Tempo di riferimento per la media [min] 60

Coordinate

coordinate cartesiane

Coordinata X del punto di calcolo [m] 0

Coordinata Y del punto di calcolo [m] 0

coordinate polari

Distanza tra sorgente e punto di calcolo [m] 0

Angolo rispetto alla direzione del vento [°] 0

Esegui Applica < Dati di base Altri dati >>> Chiudi

inserisci o aggiorna i dati relativi al modello ASME - Concentrazione in un punto di coordinate note

*Per l'opzione c) i parametri richiesti sono riportati nella schermata a fianco.*

*Le coordinate del punto possono essere sia polari che cartesiane: una volta selezionato il tipo si attivano le caselle per l'inserimento dei dati.*

Tutte queste opzioni assumono che le condizioni al contorno e quelle della sorgente siano stazionarie.

**Figura 34 – input dispersione (conc. annue vs direz. vento)**

013 ANIDRIDE SOLFOROSA - modello: Concentrazioni a lungo termine (per settori)

Altezza della sorgente [m]

Portata dell'inquinante [kg/s]

Portata globale [Nm³/h]

**Dati relativi al vento - indicare la frequenza percentuale e la velocità media per ogni direzione**

N [%]  N [m/s]  NE [%]

NW [%]  NW [m/s]  NE [m/s]

W [%]  E [%]

W [m/s]  E [m/s]

SW [%]  SE [%]

SW [m/s]  S [%]  SE [m/s]

S [m/s]

Esegui   Applica   < Dati di base   Altri dati >>>   Chiudi

inserisci o aggiorna i dati relativi al modello ASME - Concentrazione a lungo termine

L'opzione e) richiede la conoscenza della percentuale annua delle direzioni verso le quali spirano i venti e della relativa velocità media. I settori considerati sono 8 ed i dati vanno inseriti nella forma presentata con la schermata soprariportata.

Quest'ultima opzione può essere utile per un primo screening volto a verificare potenziali situazioni di inquinamento derivanti da emissioni continue e permette anche di costruire, sulla base dei risultati, una mappa delle isoplete.

### 3.5.11 MODELLO DI RICADUTA NON GAUSSIANO (CODICE AHUANG)

È basato sulla teoria non gaussiana per la distribuzione in verticale delle concentrazioni e va usato per il calcolo della ricaduta da camini in alternativa al modello ASME, soprattutto nel caso in cui l'inquinante sia più pesante dell'aria. Fonti teoriche [20] [69]

L'inserimento dati avviene con la seguente schermata.

**Figura 35 – input dispersione da camini non gaussiano**

Le variabili da inserire sono le stesse del modello gaussiano, tuttavia qui è possibile considerare la presenza di un fabbricato nelle vicinanze della sorgente o una sorgente (camino) posta sopra ad un fabbricato considerando anche l'effetto "downwash".

Per tener conto dell'effetto connesso a tale presenza si spunta la casella **"Presenza fabbricato"** così da attivare le caselle ove inserire i dati relativi alla distanza dell'edificio ed alle sue dimensioni.

La variabile "Distanza fabbricato da sorgente" permette di considerare sia l'effetto di schermo per rilasci di gas pesanti a quota del suolo, sia l'effetto "cavità" generato da un fabbricato posto nelle vicinanze e sottovento ad una sorgente elevata – vedere Figura 36- ed anche il downwash, cioè la ricaduta iniziale in adiacenza alla sorgente causata in prevalenza da basse velocità di efflusso.

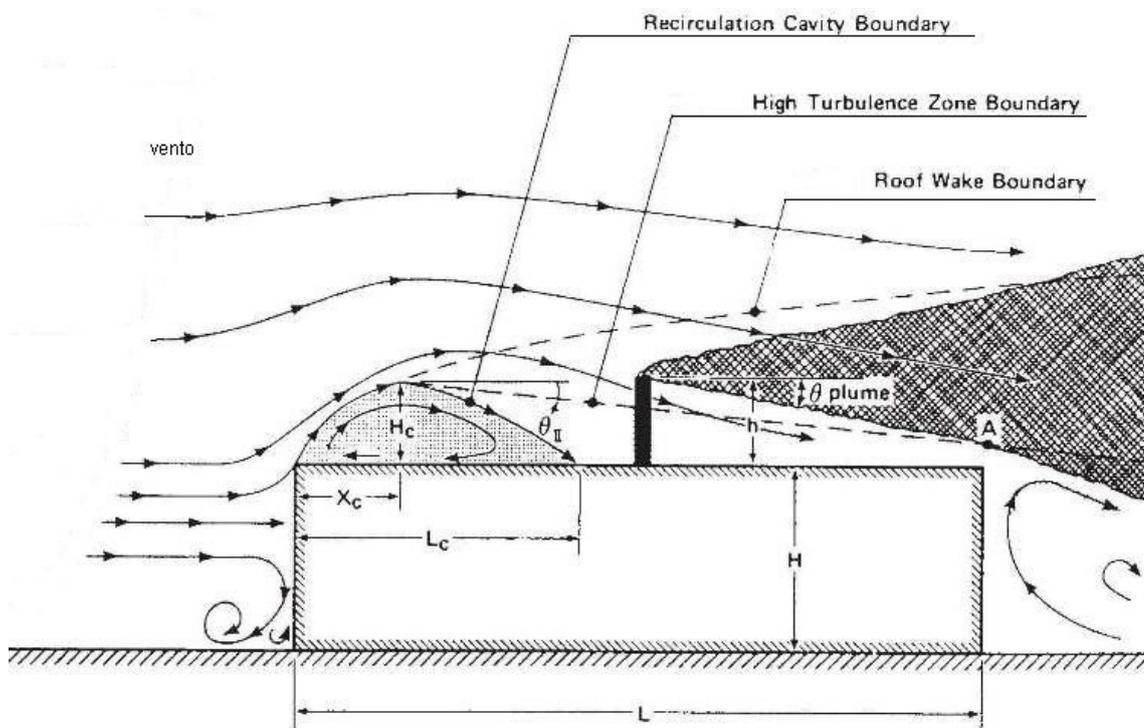
Per rilasci a quota del suolo i modelli (codici: AHuang puntiformi, ADCM istantanei e continui, AHega) tengono conto della presenza dello schermo quando le dimensioni del fabbricato sono inferiori o dell'ordine di quelle della nube, per cui la distanza tra sorgente e schermo non può essere elevata ma deve rimanere

entro qualche decina di metri. Per fabbricati alti o terreni situati a distanze maggiori si usa aumentare il parametro di rugosità.

Per emissioni da camini o vent, ponendo questa variabile = 0,1 si considera una sorgente posta sulla sommità o tetto di un fabbricato o nelle immediate adiacenze sopravento al fabbricato, così da valutare sia l'effetto "downwash" che l'effetto "wake" (il pennacchio rimane parzialmente intrappolato nella cavità generata dalla turbolenza indotta dal fabbricato, come illustrato nella Figura 36 seguente).

Con valori > 0,1 si considera solo l'effetto di maggior turbolenza originato dal fabbricato, che favorisce comunque una più rapida diluizione dell'inquinante.

**Figura 36 – illustrazione effetto wake**



Nel caso dei modelli di dispersione da camini che richiedono di inserire la portata globale dell'emissione, dato che i codici di calcolo eseguono una verifica di congruenza, se il valore inserito ( $\text{Nm}^3/\text{h}$ ) dovesse risultare **WinStar** ×  
 significativamente diversa da quello calcolato verrà visualizzato un messaggio simile a questo:

Portata totale stimata = 5055,35055350553 Nmc/h ! Non congruente con quella inserita  
 [OK] per proseguire con valori stimati [Annulla] per reinserire i dati



La condizione di congruenza è assicurata quando:

$$\left[ \frac{Q \cdot 3600}{\left( \frac{Q \cdot 3600}{P_{gas(273K)} \cdot \frac{273}{T_{efflusso}}} \right) \cdot 1,2928 + (Q \cdot 3600)} \right] \leq 1$$

Con:

Q = portata dell'inquinante (kg/s) - Qtot = portata globale (Nm<sup>3</sup>/h)

### 3.5.12 CORTINE D'ACQUA

Questo modello [77] [78] [79] [80] [81] è attivabile per i seguenti modelli di dispersione:

- sorgenti puntiformi (par. 3.5.1),
- rilasci continui gas pesanti con flash (modello box Crunch – par. 3.5.2),
- rilasci continui gas pesanti da pozza (modello AHega – par. 3.5.4),
- sorgenti lineari (par. 3.5.5)

Nei Menù di inserimento input di questi modelli è presente la casella "dev'essere gestito il Modello delle Cortine", spuntando la quale si attiva la casella Dati Cortine > in basso (vedere la Figura 23 per esempio). Dopo aver inserito le variabili relative al modello di dispersione, cliccando su questa casella prima dell'inizio dell'elaborazione sarà visualizzata la seguente schermata per l'inserimento delle variabili relative alle cortine d'acqua.

**Figura 37 – input cortine d'acqua**

The screenshot shows a software window titled "007 ACIDO FLUORIDRICO - modello: Dati delle Cortine Cortine". The interface is green and contains the following elements:

- Tipo di Ugelli:** Four radio buttons: "Conici dall'alto", "Conici dal basso", "Piatti dal basso" (selected), and "Piatti dall'alto".
- Angolo di uscita spruzzatori [° sess.]:** Input field with value 20.
- Numero di flusso degli spruzzatori [L/(s\*kPa)]:** Input field with value 0,0061.
- Pressione dell'acqua [kPa]:** Input field with value 700.
- Spaziatura degli spruzzatori [m]:** Input field with value 1.
- Distanza dalla sorgente [m]:** Input field with value 5.
- Lunghezza della cortina [m]:** Input field with value 20.
- Posizionamento del muro:** Three radio buttons: "Muro davanti (a monte) della cortina", "Muro dietro la cortina", and "Nessun muro" (selected).
- Umidità relativa dell'atmosfera:** Input field with value 0,75.
- Pressione parziale del gas nella soluzione [Pa]:** Input field with value 100.
- Buttons:** "Esegui", "Applica", "< Dati Dispersione", and "Chiudi".
- Footer:** "Inserisci o aggiorna i dati relativi al modello Cortine d'Acqua".

*Il programma valuta la riduzione delle concentrazioni assicurata da cortine d'acqua realizzate con ugelli conici o piatti, per cui va indicato il tipo spuntando la corrispondente casella in alto.*

*Il numero di flusso va ricavato dalle specifiche degli ugelli o spruzzatori. L'altezza degli spruzzatori va inserita solo per getti dall'alto. La lunghezza della cortina è riferita al tratto situato di fronte alla sorgente (nel caso*

di cortine che circondano un determinato punto di  emissione, si inserisce solo uno dei lati perché si simula la condizione sottovento).

La spunta nelle caselle relative al posizionamento del muro va sempre inserita: il muro va sempre previsto per ugelli conici, mentre è facoltativo per ugelli piatti, in funzione dell'angolo del getto (angolo di uscita spruzzatori).

Posizionando il cursore sulle caselle dei valori da inserire saranno visualizzati i suggerimenti o chiarimenti. Nel caso di ugelli posti a livello del suolo o dentro cunicoli, va inserita la distanza tra gli ugelli (interasse), mentre per ugelli con getto dall'alto verso il basso si richiede l'altezza degli ugelli.

**Se non esperti nelle modalità di realizzazione, si suggerisce di usare il modello solo per l'analisi di rischio, non per il dimensionamento, per il quale sono fornite indicazioni in Appendice.**

Finito l'inserimento della variabili si può cliccare su  e poi su  per ritornare alla schermata delle variabili del modello di dispersione, quindi passare all'elaborazione.

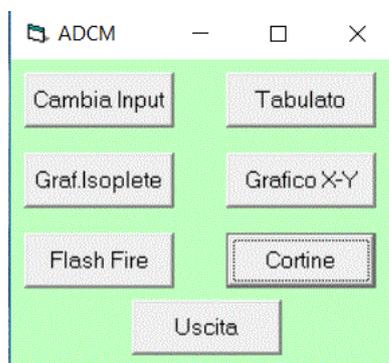
Se invece le variabili del modello dispersione sono già state inserite e confermate, si può passare direttamente al calcolo cliccando su

In entrambi i casi si effettua il calcolo della dispersione, al termine del quale sarà visualizzata la finestra riportata a destra.

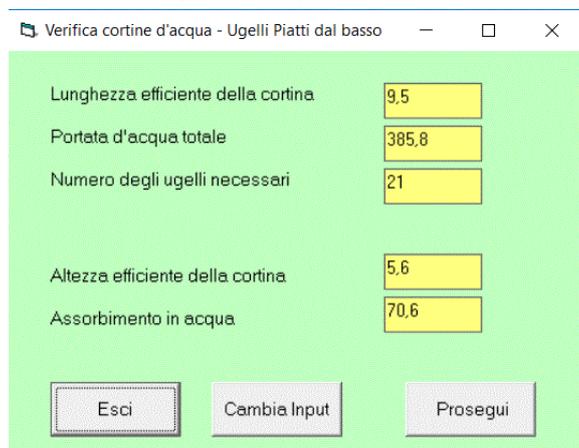
Oltre alle consuete scelte presentate al termine dei calcoli per stampare o cambiare input o uscire, è aggiunta la casella "Cortine".

**Per proseguire con il calcolo delle cortine occorre cliccare su questa casella.**

Sarà visualizzata la finestra seguente, nella quale sono riportati i risultati parziali al fine di permettere all'utente di verificare la fattibilità sotto il profilo tecnico.



**Figura 38 – parziali calcolo cortine**



Queste indicazioni permettono la verifica della disponibilità d'acqua richiesta, oltre ad altri parametri (lunghezza efficiente, cioè quanto della lunghezza cortina ipotizzata ed inserita come input è realmente necessaria per avere efficacia e numero di ugelli richiesti. Per cambiare tipo di cortina o modificare gli input si clicca sulla casella "Cambia Input" ripetendo la procedura.

Se invece si desidera proseguire si clicca sulla

casella "Prosegui" e verrà continuato il calcolo.

Al termine sarà presentata la solita finestra di scelta per la stampa o il grafico o l'uscita.

### 3.6 PERCOLAMENTI NEL TERRENO (CODICE PERCOLA)

Calcola la concentrazione di un liquido che percola attraverso il terreno in funzione del tempo trascorso dall'inizio dello sversamento e della profondità, tenendo conto delle caratteristiche del terreno, dell'evaporazione e di eventuali costanti di decadimento o degradazione della sostanza. Fonti teoriche [111] [114].

Considera sia lo scenario di rilascio sul terreno (spandimento in zona non pavimentata), sia quello di rilascio in un'area che, pur pavimentata, permette il percolamento a causa di fessurazioni o crepe nella pavimentazione.

Si assume che il rilascio sia istantaneo, cioè che il percolamento abbia inizio quando la pozza è già formata con le dimensioni specificate, quindi il modello non è applicabile per rilasci di piccola entità che perdurano per molto tempo, a meno di considerare un'area della pozza stazionaria stimando il quantitativo di liquido che costituisce la pozza (vedere esempio a fine paragrafo).

Rispetto alle versioni precedenti sono state apportate le seguenti modifiche:

- *La tipologia di terreno può essere scelta tra 8 categorie predefinite, a ciascuna delle quali sono associati i parametri di default elencati nella Tabella riportata al termine del presente paragrafo: qualora non siano noti tali parametri (contenuto di carbonio organico nel suolo, densità, porosità, ecc.) ciò rende possibile una prima stima del fenomeno.*

***Allo scopo di assicurare la massima flessibilità d'uso, nel caso in cui siano invece noti i parametri che caratterizzano il suolo sottostante al punto di perdita, è possibile inserirli:***

- clickando sulla casella***  ***e inserendo le variabili relative***
- ☞ alla densità del terreno,
  - ☞ alla frazione di limo e argilla
  - ☞ al contenuto d'acqua nel terreno.

***inserendo direttamente i valori nelle apposite caselle della schermata di input.***

Per tornare ai valori di default (riportati nella tabella alla fine del presente paragrafo) si può scegliere tra:

***reinserire i valori seguendo lo stesso procedimento dell'inserimento iniziale;***

***digitare 0 (zero) nelle caselle dei parametri:***

- *densità terreno, frazione di limo/argilla, contenuto d'acqua usando*

- *porosità, carbonio organico nella sabbia, carbonio organico in limo/argilla.*

**Anche qualora si voglia cambiare il tipo di terreno usando i parametri di default, occorre mettere a 0 (zero) tali variabili.**

- Rimane la possibilità di far stimare la "Tensione di vapore" (se non si conosce) inserendo il valore 0 (zero) per questa variabile (si usano le relazioni proposte in [123] (pag. 14-8 e segg.) in base alla temperatura di ebollizione e al calore di vaporizzazione.
- Il calcolo dell'evaporazione dalla pozza è svolto, sulla base del tempo di esaurimento della pozza, cioè del tempo necessario perché tutto il liquido sia assorbito dal terreno [114], utilizzando la formulazione del TNO (CPR14E 2005) per il calcolo del coefficiente di scambio:

$$k_g = 0,004786 \cdot uw^{0,78} \cdot dp^{-0,11} \cdot NSc^{-0,67}$$

dove  $uw$  è la velocità del vento,  $dp$  il diametro della pozza e  $NSc$  il numero di Schmidt.

La schermata per l'inserimento delle variabili di calcolo è presentata nella figura seguente.

**Figura 39 – input percolamenti su terreno**

The screenshot shows a software window titled "066 PENTANO \* - modello: Percolamento". It contains two main panels for data entry:

- Dati del terreno (Soil Data):**
  - Radio buttons for soil types:
    - argilla/argilla limosa (clay/silty clay)
    - franco argillo-limoso (silty clay-loam)
    - franco argilloso (clay loam)
    - franco limoso/limo (silt loam/silt)
    - franco argillo sabbioso (sandy clay loam) - **Selected**
    - franco sabbioso (sandy loam/sandy)
    - sabbia compatta (sandy or loamy sand)
    - sabbia mista ghiaia (sand/sand-gravel)
  - Buttons: "Modifica parametri substrato"
  - Input fields:
    - Porosità efficace [fraz]: 0,33
    - Carbonio organico nella sabbia [fraz]: 0,35
    - Carbonio organico in argilla/limo [fraz]: 0,35
- Dati per il calcolo (Calculation Data):**
  - Concentrazione dell'inquinante [kg/mc]: 626
  - Coefficiente di degradazione inquinante [fraz]: 0
  - Quantità rilasciata [kg]: 1000
  - Area della pozza [m²]: 50
  - Sezione di percolamento nel suolo [m²]: 50
  - Tensione di vapore [Pascal]: 65200
  - Profondità di calcolo [m]: 5
  - Tempo di fine calcolo [giorni]: 2

At the bottom, there are buttons: "Esegui", "Applica", "< Dati di base", and "Chiudi".

Per ciascuna delle variabili da inserire, fatta eccezione per il tipo di terreno, posizionando il cursore sulla casella della variabile si ottiene un'indicazione del valore da inserire.

I parametri "Profondità di calcolo" e "Tempo di fine calcolo" si riferiscono alla profondità massima ed alla durata o tempo a cui si vuole terminare il calcolo (per esempio, 30 m di profondità e 4 giorni per calcolare fino a 30 m, ad intervalli definiti dal modello, e fino a 4 giorni, ad intervalli di un giorno).

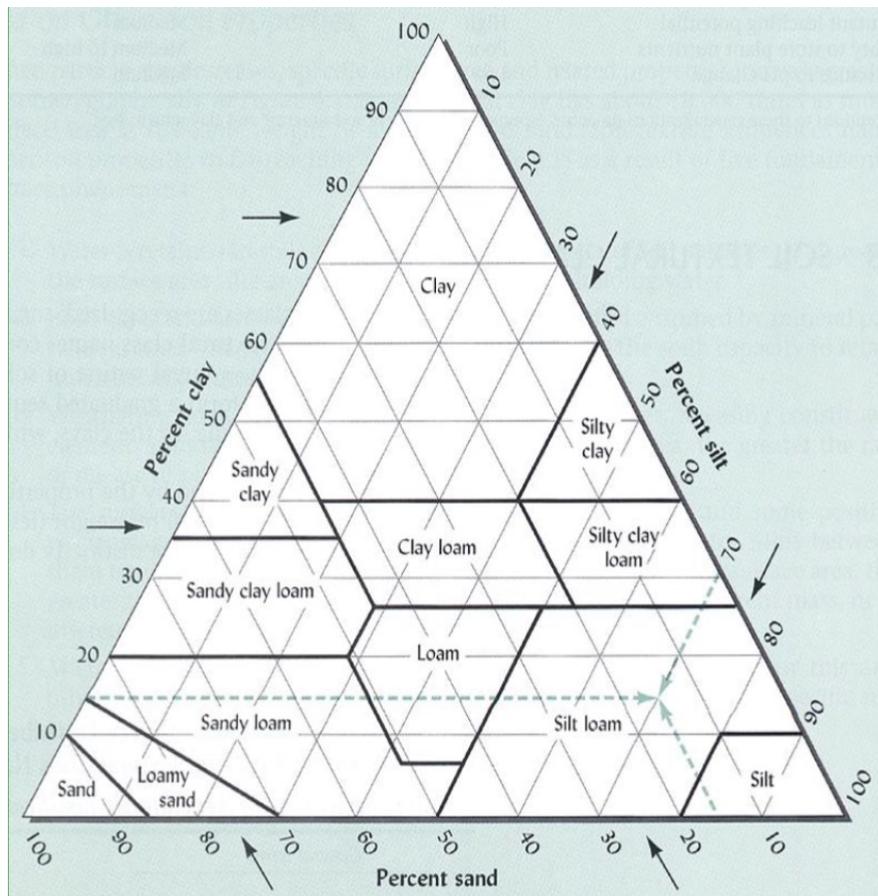
**Nel caso di calcoli per scenari con la stessa sostanza, ma con dati diversi, è necessario verificare che tutte le variabili siano appropriate.**

Riguardo alla tipologia del terreno da scegliere ed ai corrispondenti valori di alcuni dei parametri caratteristici del terreno, di seguito sono fornite alcune indicazioni per facilitare la scelta.

Le definizioni delle categorie di terreno sono tratte dalla classificazione dell'USDA<sup>7</sup> sulla base della tessitura del terreno, esemplificata nel grafico seguente, mediante una semplificazione delle innumerevoli categorie in modo da ottenerne 8 rappresentative della maggior parte dei suoli permeabili, sulle quali eseguire la scelta. Sono esclusi substrati impermeabili, quali il cemento o calcestruzzo, l'asfalto o altre pavimentazioni per le quali non è applicabile il fenomeno di percolamento, e la ghiaia, per la quale è intuitivo che il percolamento sarà rapido (fino ad un eventuale strato di altro materiale o fino alla falda).

**Figura 40 – tessitura terreni**

Per semplificare l'uso del modello, sulla base del tipo di terreno sono stabiliti anche alcuni parametri del suolo (riportati nella tabella al termine del presente paragrafo) e l'angolo di spandimento, cioè l'angolo che descrive l'allargamento o ampliamento della superficie di percolamento. Sono stati lasciati alla scelta dell'utilizzatore i parametri di umidità ( $H_2O$  nel terreno) e di porosità efficace. Per quest'ultimo parametro tuttavia, è possibile usare il valore di default riportato nella seguente.



Per effettuare il calcolo cliccare sempre prima su "Applica" e poi su "Esegui"  
 Ovviamente, lasciando la possibilità all'utente di inserire liberamente i valori che caratterizzano il suolo, può anche capitare che vengano inseriti valori non congruenti o non corretti.

**In proposito si richiama l'attenzione sulla necessità di verificare i dati.**

<sup>7</sup> Dipartimento dell'Agricoltura USA.

I risultati dell'elaborazione sono presentati come illustrato nel capitolo 4: il tabulato è suddiviso in venticinque righe, ognuna legata alla profondità in m (segnata a sinistra), ed in quattro colonne che esprimono il tempo del calcolo in giorni.

**Tabella 5 – dati di default modello “percolamento”**

argilla	limo	sabbia	ghiaia	Substrato	Angolo β	XocS sand %	XocF clay-loam %	argilla e limo	Kh m/s	densità kg/m <sup>3</sup>	porosità fraz.
40-60	10-60	0-20		argilla e argilla limosa (clay-silty clay)	45°	0	0,9	1	1,00E-08	1350	0,02
25-40	60-75	0-20		franco argillo-limoso (silty clay-loam)	35°	0,085	0,765	0,9	1,00E-07	1400	0,05
25-40	15-50	20-45		franco argilloso (clay loam)	30°	0,16	0,64	0,8	5,00E-07	1450	0,1
0-25	50-90	0-45		franco limoso o limo (silt loam or silt)	20°	0,225	0,525	0,7	1,00E-06	1550	0,15
20-55	0-25	45-80		franco argillo-sabbioso (sandy clay loam)	15°	0,35	0,35	0,5	1,00E-05	1560	0,2
0-20	0-50	30-80		franco sabbioso (sandy loam / sandy)	10°	0,35	0,15	0,3	5,00E-05	1580	0,25
0-10	0-20	70-100		sabbia compatta (sand or loamy sand)	5°	0,27	0,03	0,1	8,00E-05	1600	0,3
		70-75	25-30	sabbia mista ghiaia (sand / sand-gravel)	1°	0,1485	0,0015	0,01	1,00E-04	1700	0,3

Il valore di porosità può essere scelto e inserito dall'utente: se invece si digita 0 (zero) viene inserito il valore della tabella.

XocS è il carbonio organico nella sabbia

XocF è il carbonio idraulico in argilla e limo

Kh è la conduttività idraulica

**esempio di calcolo di un rilascio continuo**

*Si ipotizza un rilascio con portata di 0,5 kg/s perdurante per 30 minuti su un'area pavimentata, ma con presenza di una crepa la cui sezione è 0,5 m<sup>2</sup>.*

*Si può ragionevolmente ritenere che il percolamento da questa sezione sia inferiore alla portata di rilascio, per cui la quantità di liquido può essere stimata in 0,5\*1800 = 900 kg. Le dimensioni della pozza, se non delimitate da cordolature o pendenze, possono essere stimate dal volume/spessore (spessore da stimare in base alle asperità del pavimento/terreno con un minimo di 3-5 mm).*

*Supponendo invece che l'area non sia pavimentata, appare più verosimile il percolamento di una frazione significativa di liquido nel corso di mezz'ora, per cui occorre stimare la superficie della pozza considerando che parte della portata di rilascio percola e parte evapora.*

### 3.7 DILUIZIONE / DISPERSIONE IN ACQUA (CODICE DISPW)

Il modello tratta rilasci di liquidi solubili o insolubili e più leggeri dell'acqua che possono essere rilasciati in un corso d'acqua (fiume, canale, roggia e similari). Utilizza le relazioni presentate in varie fonti [114][124][125][126] tramite le quali si possono calcolare:

- ☞ la concentrazione attesa di un liquido solubile,
- ☞ l'evaporazione e le dimensioni della chiazza di liquido insolubile più leggero dell'acqua.

I risultati sono presentati con riferimento alla distanza dalla sorgente, la quale è assunta essere istantanea o di breve durata: non sono contemplate sorgenti continue nel tempo per le quali occorre applicare modelli diversi.

Le variabili di input da inserire sono quelle riportate nella schermata che segue.

**Figura 41 - input dispersioni in acqua**

La differenza di colore nelle caselle "Pendenza" e "Velocità media" sta a significare che il dato sarà calcolato dal modello stesso: per inserirlo occorre spuntare la casella a fianco.

Un aiuto per la scelta dei dati è fornito posizionando il cursore sulla casella di inserimento. Per semplificare tale scelta e l'introduzione dei dati stessi, si sono operate alcune assunzioni sulle seguenti variabili da inserire.

La scelta della tipologia di corso d'acqua è fatta sulla base di 4 ambiti che descrivono il regime di flusso generalmente presente in funzione dell'ambiente: per esempio, scegliendo pianura saranno adottati coefficienti e dati tipici per corsi d'acqua di pianura. La scelta si compie cliccando sulla destra della casella e aprendo il menu a tendina come nella figura a fianco.

**Figura 42 - variabili ambito naturale**

Anche le caratteristiche del fondo e delle rive del corso d'acqua incidono nei parametri che contribuiscono al calcolo, in particolare per la velocità dell'acqua, e vanno scelte come di seguito indicato.

Analogamente al caso dell'ambito naturale, la scelta si compie aprendo il menu a tendina come nella figura a fianco e cliccando sulla voce che rappresenta lo scenario da indagare.

Situazioni non puntualmente rientranti tra quelle mostrate nel menù possono essere assimilate a una della categorie, oppure si possono fare i calcoli per due categorie simili e scegliere i risultati che si ritengono più verosimili.

**Figura 43 - dati del corso d'acqua**

**Attenzione: i valori nelle caselle "Pendenza" e "Velocità media" possono non essere inseriti solo se NON c'è la spunta a fianco. Quando si effettua un nuovo calcolo, la spunta è inserita automaticamente e il valore è quello del calcolo precedente: se si modifica qualche variabile dell'ambito naturale o del tipo di fondo, o se si vuole immettere i dati, la spunta dev'essere inserita.**

La tensione di vapore è necessaria nel caso di liquidi insolubili e più leggeri dell'acqua (quelli più pesanti si depositeranno nella maggior parte sul fondo e non sono trattati dal modello): se non nota si può stimare inserendo 0 (zero) nella casella corrispondente (è comunque opportuno verificare il dato sulla stampata finale).

### 3.8 ESPLOSIONE / UVCE / TNT E TNT EQUIVALENTE (CODICE A CODE)

Spuntando la casella corrispondente a questa opzione nel menù della Figura 8 si passa alla schermata seguente nella quale sono presentate ulteriori tre opzioni:

- Deflagrazione
- Detonazione
- TNT equivalente
- TNT (alti esplosivi)

Le prime due corrispondono ad un modello di calcolo delle esplosioni di nubi di vapore (Unconfined Vapor Cloud Explosion) in ambienti più o meno confinati. La terza opzione può essere utilizzata sia per esplosioni di vapori/gas infiammabili in condizioni confinate, sia per solidi con bassa velocità di decomposizione o artifici pirotecnici che non presentano rischio di esplosione in massa. La quarta opzione si usa per esplosivi o alti esplosivi. Fonti teoriche [1][32][45][49].

**Figura 44 – input uvce/TNT**

Cliccando su una delle quattro caselle in alto a sinistra si sceglie il tipo di esplosione. Scegliendo

"Detonazione" o "TNT Equivalente" o "TNT (esplosivi)" la casella per l'inserimento della velocità di fiamma si disattiva in quanto le relazioni di calcolo non usano questo dato. Per passare al calcolo si clicca sempre prima su "Applica" e poi su "Esegui". La scelta tra i modelli "TNT equivalente" o "TNT (esplosivi)" può essere fatta in base alle proprietà esplosive della sostanza o alla classificazione.

Nell'opzione "calcolo automatico" questo modello può essere utilizzato solo per la deflagrazione, in quanto si assume che in caso di rilascio e formazione di nube di vapori sia verosimile solo il fenomeno della UVCE con corrispondente deflagrazione. Per usare gli altri modelli scegliere l'opzione "calcolo manuale".

Il valore della velocità di fiamma richiesto nel caso di deflagrazione può essere dedotto dalla tabella in appendice.

La stampa fornisce la sovrappressione, la relativa durata e l'impulso in funzione della distanza dall'origine.

### 3.9 SCOPPIO RECIPIENTI (CODICE AFRAMM)

Sono disponibili due modelli di calcolo della sovrappressione e dell'impulso generati dallo scoppio di recipienti. Si applicano a scenari di BLEVE, deflagrazioni o runaway reaction, detonazioni all'interno di recipienti e forniscono anche la distanza massima e l'energia residua dei frammenti per recipienti sferici, cilindrici orizzontali o verticali.

#### 3.9.1 MODELLO NASA

Si utilizza per recipienti di cui si conoscono le dimensioni e caratteristiche, in particolare quando è ragionevolmente possibile ipotizzare le dimensioni e caratteristiche dei frammenti, che vengono assunti di uguali dimensioni, spessore omogeneo e pari a quello del recipiente.

Fonti teoriche [54] [55]. La schermata di inserimento input è riportata di seguito

**Figura 45 – input scoppi recipienti – modello NASA**

066 PENTANO \* - modello: Esplosione Recipienti - NASA

Tipo di esplosione  
 scoppio per jet fire     BLEVE per flame engulfment     deflagrazione     detonazione

Tipo di recipiente  
 sfera     cil. fondi emisferici     cil. con un fondo conico     cil. fondi piani     cil. fondi bombati

Materiale recipiente  
 Acciai speciali     Acciai normali     Leghe rame     Vetro     Leghe titanio     Leghe alluminio     FRP

Frammentazione (numero frammenti)  
 due frammenti di grandi dimensioni     da 3 a 30 frammenti di dimensioni varie

Diametro esterno recipiente [m]     Spessore pareti recipiente [mm]

Lunghezza/altezza recipiente [m]     Frazione volume occupata da gas

Lunghezza frammento [m]

Larghezza frammento [m]

Angolo di partenza frammento [°]

Tipo di calcolo  
 calcola sovrappressione e impulso per risk analysis     calcola Ps e Pr - Is e Ir - energia frammento per verifica box (distanza <= 20 m)

Esegui    Applica    < Dati di base    Altri dati >>>    Chiudi

inserisci o aggiorna i dati relativi al modello scoppio (NASA)

*È possibile scegliere tra 4 tipi di scoppio in funzione della causa, fra 4 tipi di geometria del recipiente e fra 7 tipi di materiale del recipiente.*

*Con le caselle "Tipo di calcolo" si sceglie di avere anche indicazioni sulla pressione ed impulso riflessi e sull'energia residua dei frammenti in funzione della distanza.*

*Si richiede di scegliere una delle due ipotesi di frammentazione per poter eseguire il calcolo: se lo scenario non permette una scelta sicura si può ripetere il calcolo scegliendo poi il dato più cautelativo. Per scegliere*

va considerato il materiale, il numero di attacchi o connessioni e la loro dimensione, il tipo di saldature e la loro efficienza in funzione della qualifica o collaudo, la tipologia dell'esplosione (dall'esperienza storica in genere si hanno pochi frammenti in caso di BLEVE e deflagrazione a pressioni non elevate); dato che la simulazione va riferita a frammenti di dimensioni significative, possono non essere considerati i piccoli frammenti, specialmente quelli derivanti da connessioni, flange, ecc. per i quali può essere usato il modello TNO.

Va rilevato che i frammenti considerati da questo modello sono parti del mantello del recipiente, che hanno cioè uno spessore pari a quello delle pareti.

### 3.9.2 MODELLO TNO

Quando non siano note tutte le variabili richieste dal modello NASA, o si desideri valutare i parametri di proiezione di frammenti le cui caratteristiche non corrispondono a quelle richieste dal medesimo modello (per esempio nel caso in cui lo spessore del frammento sia diverso da quello del recipiente) è adottabile questo modello. Fonti teoriche [1] [50]

La schermata di inserimento input è la seguente.

**Figura 46 – input scoppi recipienti – modello TNO**

066 PENTANO \* - modello: Esplosione Recipienti - TNO

Tipo di esplosione  
 scoppio per jet fire     BLEVE per flame engulfment     deflagrazione     detonazione

Tipo di recipiente  
 sfera     cil. fondi emisferici     cil. con un fondo conico     cil. fondi piani     cil. fondi bombati

Materiale recipiente  
 Acciai speciali     Acciai normali     Leghe rame     Vetro     Leghe titanio     Leghe alluminio     FRP

Frammentazione (numero frammenti)  
 due frammenti di grandi dimensioni     una ventina di frammenti di dimensioni varie

Diametro esterno recipiente [m]     Spessore pareti recipiente [mm]

Lunghezza/altezza recipiente [m]     Frazione volume occupata da gas

Tipo di frammenti  
 bocchello (M=lunghezza 0,05 M=spessore) oppure flangia (2M=diametro 0,1M=spessore)     valvole, pompe, ecc... (1,5M=diametro 2M=lunghezza)

Misura nominale M [mm]     Altezza di partenza [m]

Tipo di calcolo  
 calcola sovrappressione e impulso per risk analysis     calcola Ps e Pr - Is e Ir - energia frammento per verifica box (distanza <= 20 m)

Esegui    Applica    < Dati di base    Altri dati >>>    Chiudi

Inserisci o aggiorna i dati relativi al modello scoppio (TNO)

Rispetto al modello precedente variano i criteri di stima dei frammenti, per dimensionare i quali si usa un parametro M (in mm) che viene definito in modo diverso a seconda che si tratti di un frammento tozzo (non aerodinamico) o volante.

Tozzi sono valvole, branchetti, parti di macchine e similari.

Le dimensioni di frammenti tozzi saranno: diametro =  $1,5*M$  ; lunghezza =  $2*M$

Frammenti volanti sono invece le flange, i bocchelli o boccaporti, parti delle pareti e similari; le cui dimensioni saranno inserite considerando:

- per bocchelli o boccaporti o similari: lunghezza =  $M$  ; spessore  $0,05*M$
- per flange o parti a forma circolare: diametro =  $2*M$  ; spessore  $0,1*M$

Dopo aver cliccato su "Applica" e poi su "Esegui" per avviare il calcolo, sarà visualizzata la schermata a fianco:

Il valore riportato è la pressione di rottura teorica calcolata in base ai dati predefiniti inseriti nel modello e potrebbe non

corrispondere al valore reale, per cui è possibile accettarlo (cliccando sulla casella "OK") o cambiarlo (si inserisce nella casella in bianco il nuovo valore (in Pascal), quindi si clicca su "Applica" e poi su "OK")

**Il valore minimo accettabile dal modello è 200000 Pascal, o 2 bar.**

La casella "Torna a valore calcolato" permette di ripristinare il valore teorico calcolato.

Siccome il modello fornisce anche una stima statistica della probabilità che le dimensioni del frammento rientrino in determinate percentuali, può verificarsi il caso che i dati inseriti non siano congruenti con i dati statistici raccolti dagli autori del modello: viene allora visualizzato il messaggio a fianco. Si può proseguire senza ottenere dati sulla probabilità che il frammento rientri in determinate categorie percentuali, oppure cambiare le dimensioni del frammento o la pressione di rottura, o lo spessore, o altre variabili.

Il fenomeno del BLEVE (Boiling Liquid Expanding Vapor Explosion) è applicabile solo a gas liquefatti e/o a liquidi surriscaldati: per altre fasi della sostanza viene visualizzato un messaggio che chiede di verificare o cambiare il dato. Nel caso di BLEVE, tra le variabili richieste nel Menù di Figura 7 – input dati comuni - si dovranno inserire i valori di pressione e temperatura riferiti alle condizioni di surriscaldamento (Pressione di rilascio = pressione a cui si ipotizza originarsi il fenomeno, in genere corrispondente alla temperatura di sovrariscaldamento che è stimata  $\geq 0,89*$ temperatura critica).

### **3.10 DIMENSIONAMENTO SFIATI**

Questa opzione è presente solo nella versione S.T.A.R. identificata dalla lettera finale P (progettazione) e permette l'utilizzo di un modello di calcolo sviluppato per eseguire la verifica o effettuare il dimensionamento di scarichi funzionali anche nell'ipotesi flusso bifase.

I modelli di calcolo citati nel quadro del Dimensionamento sfiati si riferiscono a due codici di calcolo (Relief e Detail) che permettono:

#### **Relief**

✿ la verifica o il dimensionamento di orifici di sfiato o scarico in funzione della tipologia di sorgente e della regime dello scarico (flusso bifase o monofase gassoso) per sovrappressioni determinate da surriscaldamento originato da

- ↳ reazioni (runaway,
- ↳ incendio esterno.

#### **Detail**

✿ la verifica o il dimensionamento di tubazioni nelle quali siano convogliati gli scarichi sopracitati.

Dagli esperimenti condotti dal DIERS (Design Institute for Emergency Relief Systems) e dall'American Institute of Chemical Engineers (AIChE), oltre ad ottenere una ulteriore conferma della possibilità di formazione di flusso bifase nello scarico da dischi di rottura o valvole di sicurezza per sovrappressioni originate da aumenti di temperatura, si sono anche ricavate metodologie di calcolo che permettono di individuare quando ciò avviene e dimensionare le aperture di scarico al fine di assicurare lo sfogo delle sovrappressioni e la sicurezza degli apparecchi [85][86][87].

A seguito della depressurizzazione connessa allo scarico, il livello del liquido nel recipiente può aumentare in funzione dell'entità e volume delle bolle che si formano e, in funzione anche delle dimensioni del recipiente, il liquido può raggiungere la sommità dell'apparecchio instaurando uno scarico bifase che richiede dimensioni dell'orifizio diverse da quelle di uno scarico monofase.

Le caratteristiche dello scarico (gassoso o bifase) ed i parametri richiesti per il dimensionamento dello scarico al fine di proteggere il recipiente da sovrappressioni derivanti dall'insufficienza dello sfiato sono fornite dal modello denominato Relief [83][84] i cui parametri di input vengono richiesti, in funzione dell'opzione, tramite schermate come le seguenti.

**Figura 47 – progettazione con runaway in volano termico**

La reazione "run-away con volano termico" considera una situazione in cui la reazione si svolge in un recipiente con presenza di solvente, il quale assicura un assorbimento, anche parziale, del calore sviluppato, rallentando in certo qual modo la velocità di sviluppo del calore.

L'alternativa contemplata dal modello, si definisce "run-away ibrida" e considera sia una reazione dalla quale si può sviluppare una sostanza gassosa diversa da quella contenuta nel recipiente, sia una reazione "non temperata" dalla presenza di volano termico, risultando perciò meno controllabile e richiedendo parametri diversi, com'è possibile vedere nella seguente figura.

**Figura 48 – verifica sistema con reazione runaway ibrida**

Scopo del calcolo		<input type="radio"/> Progettazione di un nuovo sistema <input checked="" type="radio"/> Verifica di un sistema esistente	
Tipologia del sistema		Tipologia di reazione	
Genera schiume? <input checked="" type="radio"/> Sì <input type="radio"/> No		<input type="radio"/> Reazione run-away con volano termico <input type="radio"/> Riscaldamento esterno <input checked="" type="radio"/> Reazione run-away ibrida	
Tipologia di flusso		Lunghezza linea sfiato	
<input checked="" type="radio"/> Flusso turbolento <input type="radio"/> Flusso viscoso		<input type="radio"/> >= 0,1 m <input checked="" type="radio"/> < 0,1 m	
Area dell'orifizio di sfiato [m <sup>2</sup> ]	<input type="text" value="0,00435"/>	Condizioni set	
Gradiente medio di innalzamento della temperatura [K/s]	<input type="text" value="0,525"/>	Volume libero nel recipiente [fraz.]	<input type="text" value="0,5"/>
Pressione parziale del vapore [Pa]	<input type="text" value="84000"/>	Contropressione allo scarico [Pa]	<input type="text" value="100000"/>
Pressione parziale del gas [Pa]	<input type="text" value="23000"/>		
Dati geometrici			
Volume del recipiente [m <sup>3</sup> ]	<input type="text" value="1,67"/>	Diametro del recipiente [m]	<input type="text" value="3,184"/>
Altezza del recipiente [m]	<input type="text" value="3,972"/>	Lunghezza tubazione di scarico [m]	<input type="text" value="0,05"/>
		Fattore di frizione	<input type="text" value="0,005"/>
Dati termodinamici		Sviluppo altra sostanza?	
Gradiente di pressione in relazione alla temperatura [Pa]	<input type="text" value="1800000"/>	<input type="radio"/> Sì <input checked="" type="radio"/> No	
Tensione superficiale [N/m]	<input type="text" value="0,0158"/>		
Fattore di comprimibilità	<input type="text" value="1"/>		
<input type="button" value="Esegui"/> <input checked="" type="button" value="Applica"/> <input type="button" value="Chiudi"/>			

Per l'opzione "Verifica di un sistema esistente" si richiedono variabili diverse che per la "Progettazione di un nuovo sistema", come si vede dalle Figure precedenti e da quella che segue, dove si riporta la schermata per l'inserimento degli input relativa al caso di sovrappressione causata dal riscaldamento esterno, per esempio per irraggiamento o perché l'apparecchio è avvolto nelle fiamme.

**Figura 49 – verifica sistema per incendio esterno**

Scopo del calcolo		<input type="radio"/> Progettazione di un nuovo sistema <input checked="" type="radio"/> Verifica di un sistema esistente	
Tipologia del sistema		Tipologia di reazione	
Genera schiume?		<input type="radio"/> Reazione run-away con volano termico <input checked="" type="radio"/> Riscaldamento esterno <input type="radio"/> Reazione run-away ibrida	
<input type="radio"/> Sì <input checked="" type="radio"/> No		Lunghezza linea sfiato	
Tipologia di flusso		<input checked="" type="radio"/> >= 0,1 m <input type="radio"/> < 0,1 m	
<input checked="" type="radio"/> Flusso turbolento <input type="radio"/> Flusso viscoso			
Area dell'orifizio di sfiato [m <sup>2</sup> ]	<input type="text" value="0,0024"/>	Condizioni set	
Flusso di calore [kW/m <sup>2</sup> ]	<input type="text" value="50"/>	Volume libero nel recipiente [fraz.]	<input type="text" value="0"/>
Area esposta del recipiente [m <sup>2</sup> ]	<input type="text" value="40"/>	Contropressione allo scarico [Pa]	<input type="text" value="100000"/>
Dati geometrici			
Volume del recipiente [m <sup>3</sup> ]	<input type="text" value="25"/>	Diametro del recipiente [m]	<input type="text" value="3,184"/>
Altezza del recipiente [m]	<input type="text" value="3,972"/>	Lunghezza tubazione di scarico [m]	<input type="text" value="5"/>
		Fattore di frizione	<input type="text" value="0,05"/>
Dati termodinamici			
Tensione superficiale [N/m]	<input type="text" value="0,0158"/>		
Fattore di comprimibilità	<input type="text" value="1"/>		

Indicazioni sul contenuto e sui valori di default da inserire come input sono fornite posizionando il cursore sulla casella del relativo valore di cui si desidera la specificazione.

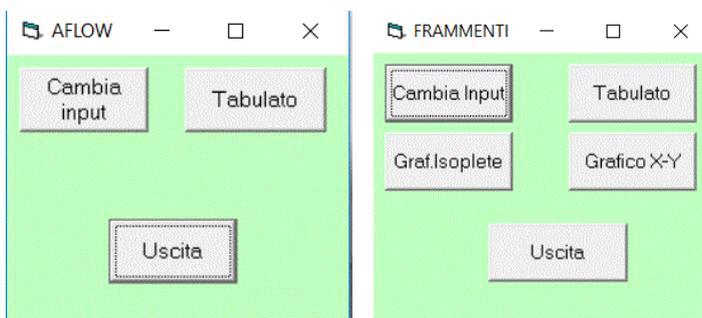
Ulteriori dettagli sui criteri di calcolo e su avvertenze particolari sono forniti nell'appendice della versione manuale "progettazione".

## 4. RISULTATI - VISUALIZZAZIONE E STAMPA

Al termine di ogni elaborazione viene visualizzata una finestra del tipo di quelle riportate a fianco, a seconda che siano disponibili le uscite grafiche o meno.

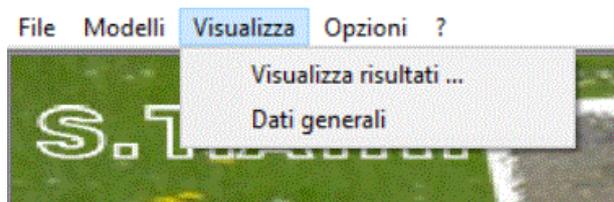
È quindi possibile passare direttamente dal calcolo alla

stampa del tabulato o del grafico. In alternativa, dopo aver terminato il calcolo, si possono visualizzare i risultati ed eventualmente stamparli mediante l'opzione "Visualizza" della schermata principale, come illustrato nella seguente figura.

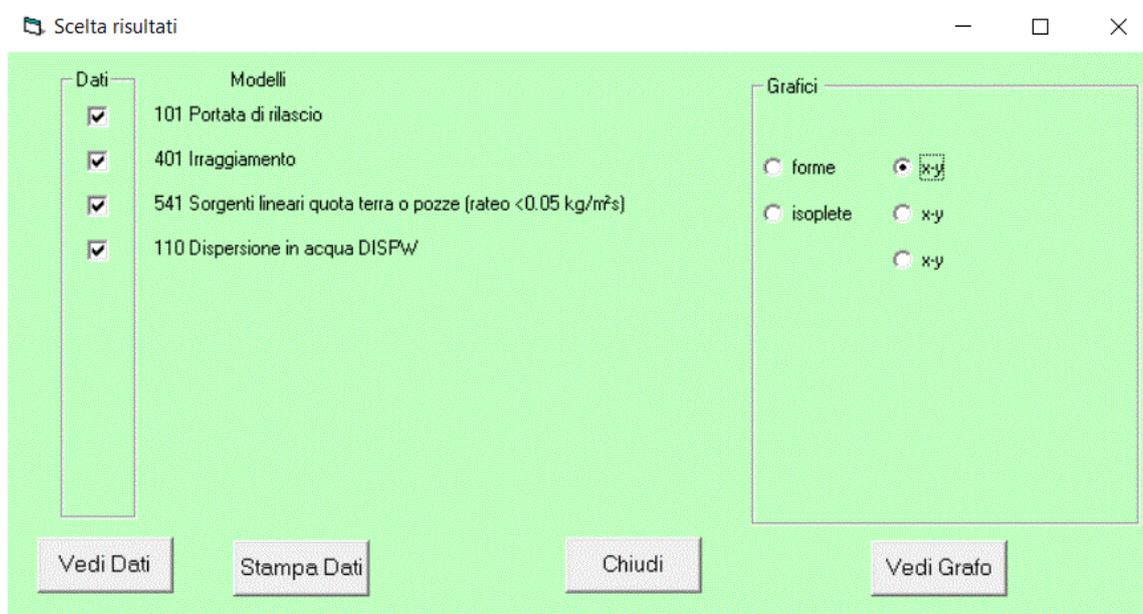


**Figura 50 – schermata per visualizzazione risultati**

Con l'opzione "Dati generali" si stampa un breve promemoria contenente il nome dell'esecutore del calcolo, l'azienda per cui è fatto il calcolo e la data di elaborazione; questi dati saranno poi riportati su ogni stampa dello stesso progetto.



L'opzione "Visualizza risultati" permette di scegliere le stampe in base ai calcoli fatti.



Dopo aver scelto il modello di cui si vogliono i risultati e tipo di output, si clicca sulla casella attiva posta nella parte inferiore (Vedi Grafo o Vedi Dati o Stampa Dati).

Gli esempi dei tabulati e grafici sono riportati di seguito.

I tabulati di calcolo sono ovviamente diversi in funzione del modello utilizzato, ma sono tutti basati sul criterio di fornire informazioni tali da permettere valutazioni flessibili (sulla scorta di soglie di danno anche diverse) e comparazioni con sperimentazioni e con altri modelli.

#### 4.1 PORTATA DI EFFLUSSO

I tabulati differiscono tra efflusso da tubazione ed efflusso da recipiente ed in funzione del regime di flusso. Per efflusso monofase da recipiente si visualizza la figura seguente.

**Figura 51 – es. schermata con risultati calcolo portata di efflusso da serbatoio**

The screenshot shows a software window titled "Risultati elaborazione" with a sub-window "Scenario #1 - rottura su serbatoio". The main area displays calculation parameters and a data table.

**Parameters:**

- Codice: 008 Sostanza: ACRILONITRILE
- Modello: Portata di rilascio
- Data del calcolo: 02/05/2014
- Fase o tipo di sostanza che fuoriesce: Liquido
- Pressione di rilascio: bar (abs) 1,01
- Diametro equivalente del foro di uscita: m 0,05
- Temperatura della sostanza che fuoriesce: K 293
- Temperatura ambiente: K 293
- Temperatura substrato dove avviene il rilascio: K 293
- Velocità del vento: m/s 2
- Categoria di stabilità atmosferica: F+G - Stabile
- Parametro di rugosità: m 0,7
- Caratterizzazione rilascio: - 1 - Serbatoio
- Geometria serbatoio: - 3 - Cilindrico orizzontale
- Quota del foro di efflusso: m 0,1
- Diametro del serbatoio: m 1,5
- Altezza (o lunghezza) del serbatoio: m 3
- Battente di liquido nel serbatoio: m 1

**Data Table:**

tempo	portata	liquido	massa	battente
min	kg/s	residuo	fuoriuscita	m
		t	t	
0,0	4,07	2,57	0,00	1,00
0,2	4,03	2,51	0,05	0,98
0,4	3,98	2,46	0,11	0,96
0,7	3,94	2,40	0,16	0,95
0,9	3,90	2,35	0,22	0,93
1,2	3,86	2,29	0,27	0,91
1,4	3,82	2,23	0,33	0,89
1,7	3,77	2,18	0,39	0,87
1,9	3,73	2,12	0,44	0,86
2,2	3,68	2,06	0,50	0,84
2,4	3,64	2,00	0,56	0,82
2,7	3,59	1,95	0,62	0,80
3,0	3,55	1,89	0,67	0,78
3,2	3,50	1,83	0,73	0,77
3,5	3,45	1,77	0,79	0,75

Buttons: Stampa, Esci

Nella casella in alto si può scrivere il "Titolo per la stampa"; per stampare cliccare sulla casella "Stampa", in basso. Il tabulato stampato sarà come quello riportato di seguito.

**Figura 52 – es. stampa tabulato risultati calcolo portata da serbatoio**

S T A R				
Safety Techniques for Assessment of Risk				
Scenario #1 - rottura su serbatoio xxx				
Codice: 008    Sostanza: ACRILONITRILE				
Modello: Portata di rilascio				
Data del calcolo: 02/05/2014				
Fase o tipo di sostanza che fuoriesce	Liquido			
Pressione di rilascio	bar (abs)	1,01		
Diametro equivalente del foro di uscita	m	0,05		
Temperatura della sostanza che fuoriesce	K	293		
Temperatura ambiente	K	293		
Temperatura substrato dove avviene il rilascio	K	293		
Velocità del vento	m/s	2		
Categoria di stabilità atmosferica	F+G - Stabile			
Parametro di rugosità	m	0,7		
Caratterizzazione rilascio	- 1 - Serbatoio			
Geometria serbatoio	- 3 - Cilindrico orizzontale			
Quota del foro di efflusso	m	0,1		
Diametro del serbatoio	m	1,5		
Altezza (o lunghezza) del serbatoio	m	3		
Battente di liquido nel serbatoio	m	1		

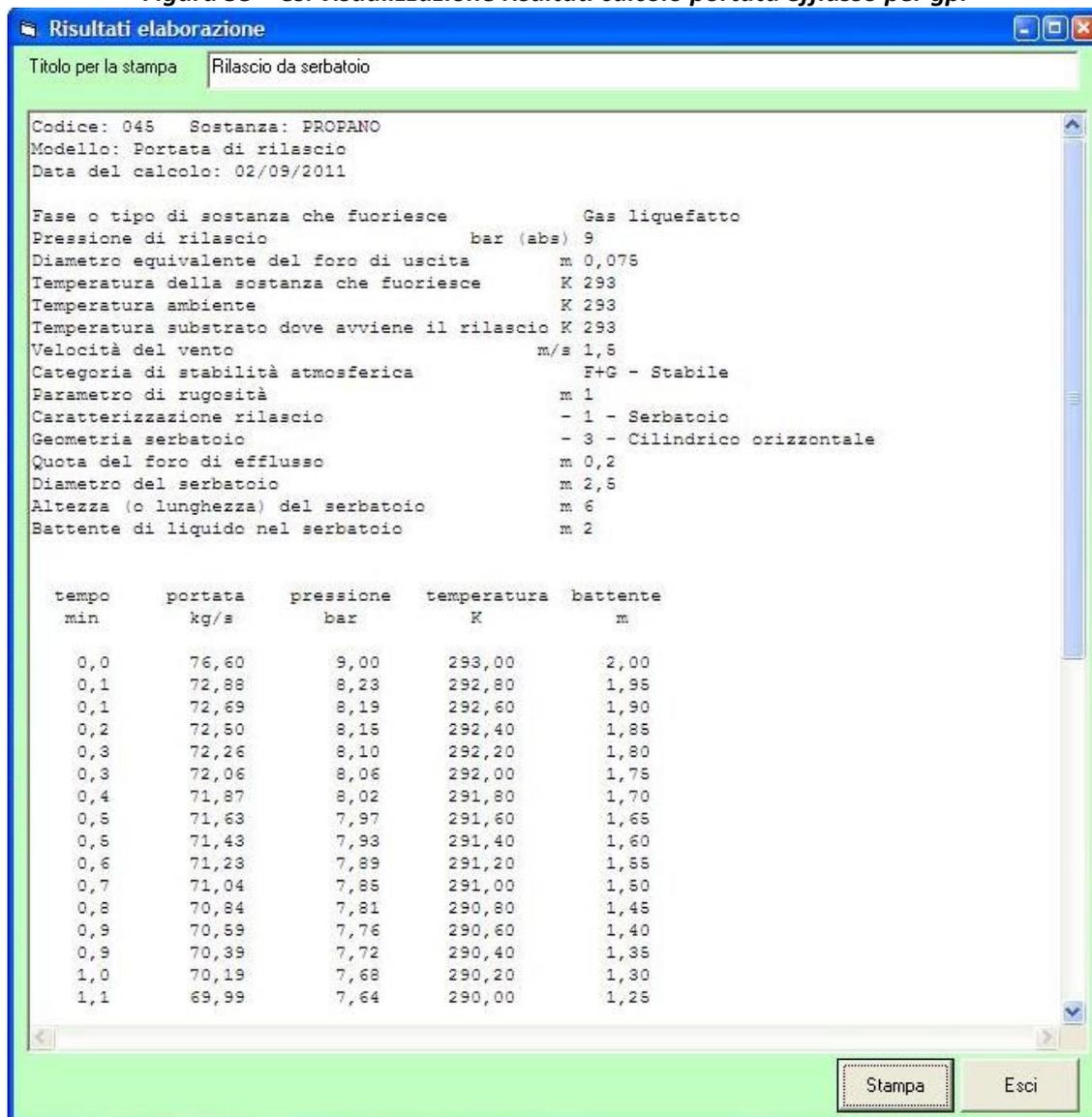
  

tempo	portata	liquido	massa	battente
min	kg/s	residuo	fuoriuscita	m
		t	t	
0,0	4,07	2,57	0,00	1,00
0,2	4,03	2,51	0,05	0,98
0,4	3,98	2,46	0,11	0,96
0,7	3,94	2,40	0,16	0,95
0,9	3,90	2,35	0,22	0,93
1,2	3,86	2,29	0,27	0,91
1,4	3,82	2,23	0,33	0,89
1,7	3,77	2,18	0,39	0,87
1,9	3,73	2,12	0,44	0,86
2,2	3,68	2,06	0,50	0,84
2,4	3,64	2,00	0,56	0,82
2,7	3,59	1,95	0,62	0,80
3,0	3,55	1,89	0,67	0,78
3,2	3,50	1,83	0,73	0,77
3,5	3,45	1,77	0,79	0,75
3,8	3,41	1,71	0,85	0,73

Al termine del tabulato viene riportata la stima della portata media nei primi 5 minuti circa (o nel tempo di svuotamento se inferiore a 5 minuti) per facilitare l'eventuale calcolo dell'evaporazione e dispersione iniziale.

Nel caso di gas liquefatto i risultati vengono presentati in maniera leggermente diversa, riportando l'andamento della pressione nel serbatoio invece della massa residua.

**Figura 53 – es. visualizzazione risultati calcolo portata efflusso per gpl**



Questa rappresentazione è utilizzata sia per rilasci dalla fase liquida che dalla fase gas, ma solo nel caso di efflusso da apparecchi, per i quali è adottata la soluzione di Bernoulli per efflusso da parete sottile.

Per rilasci da tubazione i risultati del calcolo sono presentati diversamente a seconda che si tratti di una linea in esercizio, per la quale si assume che le condizioni rimangano stazionarie, o di una linea ferma ed intercettata, che viene trattata similmente ad un'apparecchiatura. Alcuni esempi di visualizzazione finale sono riportati di seguito.

**Figura 54 – es. visualizzazione risultati calcolo efflusso bifase da tubaz.**

**Risultati elaborazione**

Titolo per la stampa

Codice: 043 Sostanza: OSSIDO DI PROPYLENE 1-2  
 Modello: Portata di rilascio  
 Data del calcolo: 21/07/2014

Fase o tipo di sostanza che fuoriesce                      Liquido surriscaldato

Pressione di rilascio                      bar (abs) 5

Diametro equivalente del foro di uscita                      m 0,0075

Temperatura della sostanza che fuoriesce                      K 313

Temperatura ambiente                      K 293

Temperatura substrato dove avviene il rilascio                      K 293

Velocità del vento                      m/s 5

Categoria di stabilità atmosferica                      D - Neutrale

Parametro di rugosità                      m 0,7

Caratterizzazione rilascio                      - 2 - Tubazione

Configurazione della tubazione                      - 2 - Linea in esercizio con flusso

Portata della tubazione                      kg/s 0,3

Lunghezza della tubazione                      m 10

Diametro nominale della tubazione                      m 0,015

Distanza del foro da inizio tubazione                      m 2

**PORTATA STAZIONARIA DA TUBAZIONE IN ESERCIZIO**

Portata                      kg/s 0,161

Pressione iniziale                      bar 5

Pressione all'efflusso                      bar 1,21

Perdite di carico                      bar 3,79

Velocità di efflusso                      m/s 8,883

**FLUSSO BIFASE**

Frazione media di flash nella tubazione                      %p 8,477

Densità media del flusso                      kg/mc 32,9

**dimensioni nube ai fini del calcolo della dispersione**

Altezza nube (rispetto al suolo)                      m 0,1

Larghezza nube                      m 0,1

Stampa      Esci

In questo caso, trattandosi di un liquido surriscaldato (sarebbe lo stesso per un gas liquefatto) e permanendo le condizioni appropriate, viene fornita l'indicazione del flusso bifase. Le dimensioni dell'**altezza e larghezza della nube sono fornite solo per l'eventuale calcolo con il modello di dispersione Crunch** (modello box ADCM) o JET e nell'ipotesi di dispersione totale del flusso (si assume cioè che anche eventuali gocce generate nell'efflusso si disperdano come aerosol senza ricaduta e formazione di pozza, tuttavia tale assunzione può essere estremamente cautelativa in funzione delle condizioni del rilascio perché si può avere sia la condensazione delle gocce con ricaduta al suolo entro brevissime distanze, sia la formazione di pozza data dal liquido residuo che non vaporizza immediatamente, con effettiva riduzione della frazione di vapori che si disperde).

Nel caso di efflusso di liquidi o di gas, questi dati non saranno calcolati e per ottenere la portata di vapori da inserire nel modello della dispersione si dovrà eseguire il calcolo dell'evaporazione. La simulazione di un rilascio da tubazione ferma (intercettata) di gas liquefatto fornirà il tabulato seguente.

**Figura 55 – es- visualizz. risultati calcolo efflusso da tubaz.intercettata**

Titolo per la stampa: PROVA CALCOLO PORTATA

Codice: 045 Sostanza: PROPANO  
 Modello: Portata di rilascio  
 Data del calcolo: 21/07/2014

Fase o tipo di sostanza che fuoriesce Gas liquefatto  
 Pressione di rilascio bar (abs) 9  
 Diametro equivalente del foro di uscita m 0,075  
 Temperatura della sostanza che fuoriesce K 293  
 Temperatura ambiente K 293  
 Temperatura substrato dove avviene il rilascio K 293  
 Velocità del vento m/s 2  
 Categoria di stabilità atmosferica F+G - Stabile  
 Parametro di rugosità m 0,5  
 Caratterizzazione rilascio - 2 - Tubazione  
 Configurazione della tubazione - 1 - Linea intercettata o ferma  
 Portata della tubazione kg/s 0  
 Lunghezza della tubazione m 50  
 Diametro nominale della tubazione m 0,08  
 Distanza del foro da inizio tubazione m 0,2

tempo sec	portata kg/s	pressione bar	temperatura K	fuoriuscito kg
1,0	25,225	8,96	293,00	25
2,0	13,023	5,12	277,00	50
3,0	12,591	4,82	274,11	63
4,0	12,031	4,51	271,90	76
5,0	11,489	4,21	269,66	88
6,0	10,945	3,92	267,45	100
7,0	10,425	3,64	265,19	111
8,0	9,906	3,38	262,98	121

FLUSSO BIFASE  
 Frazione media di flash nella tubazione %p 2,149  
 dimensioni nube ai fini del calcolo della dispersione

Altezza nube (rispetto al suolo) m 1,986  
 Larghezza nube m 3,972

Stampa Esci

Il dato della frazione media di flash è fornito come indicazione del grado di evaporazione medio nella tubazione, al fine di favorire la scelta del modello di dispersione. In genere, con flash all'interno della tubazione dell'ordine del percento e portata di efflusso < 15 kg/s si può considerare l'efflusso come aerosol<sup>8</sup>.

<sup>8</sup> Safety Cases – F.P.Lees & M.L.Ang ISBN 0-408-02708-8

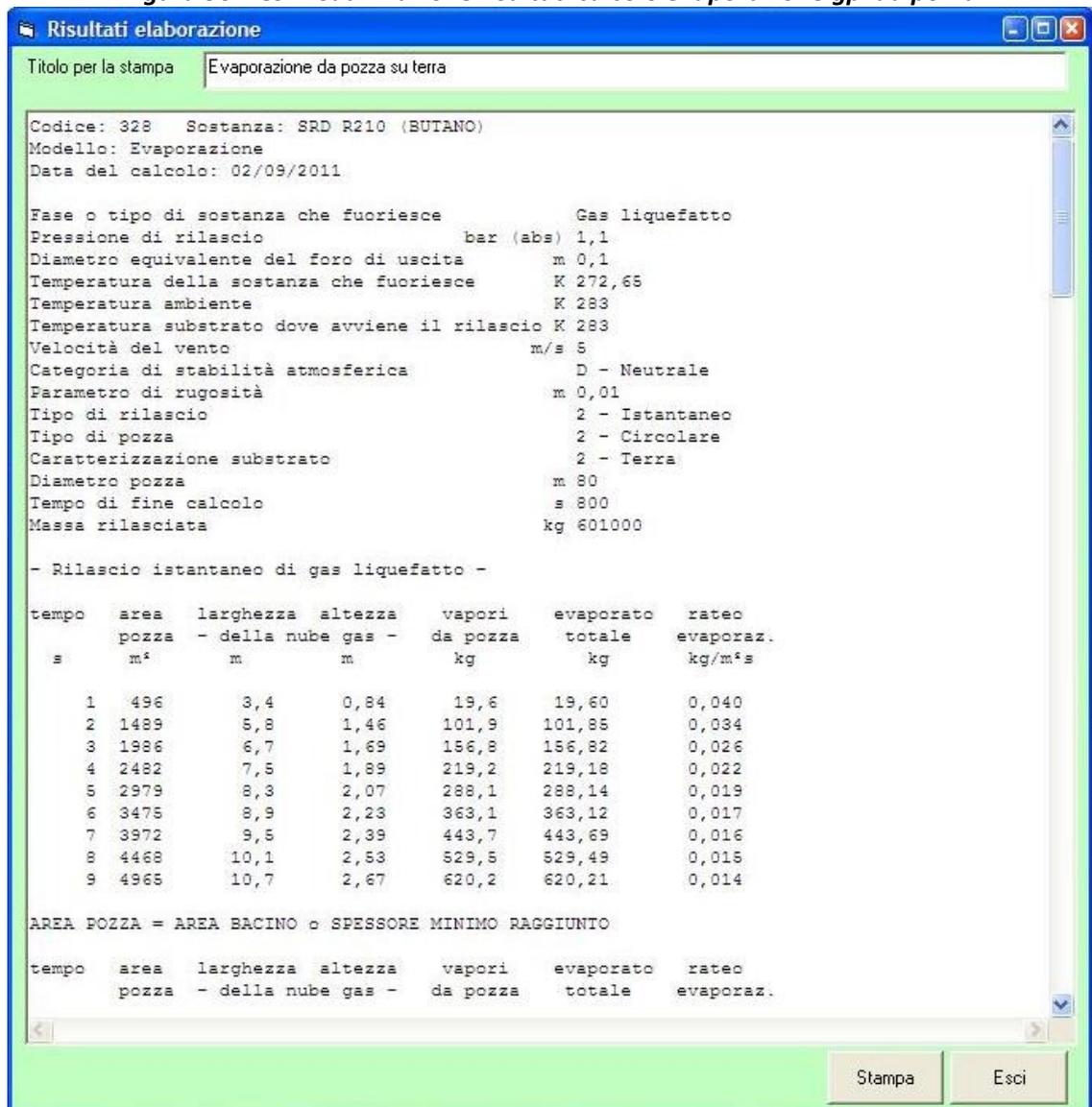
Anche in questo caso, per rilasci monofase non saranno visualizzate le informazioni relative al rilascio bifase.

Qualora il calcolo venga eseguito con le opzioni per la valutazione delle perdite di carico dovute a variazioni di sezione od alla presenza di elementi quali valvole, curve, ecc. nel tabulato saranno riportate le relative informazioni.

## 4.2 EVAPORAZIONE

I risultati del calcolo vengono presentati nella forma riportata nella seguente figura.

**Figura 56 – es. visualizzazione risultati calcolo evaporazione gpl da pozza**



L'informazione "area pozza = area bacino o spessore minimo raggiunto" viene fornita per indicare il momento in cui cessa il transitorio di spandimento o allargamento della pozza; nella fase



Per la scelta del modello di dispersione da usare in caso di rilasci istantanei occorre tener conto del tempo di evaporazione: se è breve (dell'ordine di qualche minuto al massimo) si usa la massa evaporata, altrimenti si sceglie la portata (riferita al momento in cui c'è la massima evaporazione o alla portata media a seconda dello scenario che si desidera simulare).

### 4.3 IRRAGGIAMENTO

I risultati dei calcoli per pool e tank fire sono rappresentati come segue.

**Figura 58 – es. visualizzazione risultati calcolo irraggiamento pool fire**

S T A R			
Safety Techniques for Assessment of Risk			
titolo			
Codice:	219	Sostanza:	XILENE MISCELA DI ISOMERI
Modello:	Irraggiamento		
Data del calcolo:	17/08/2020		
Fase o tipo di sostanza che fuoriesce	Liquido		
Pressione di rilascio	bar (abs)	1	
Diametro equivalente del foro di uscita	m	0,01	
Temperatura della sostanza che fuoriesce	K	298	
Temperatura ambiente	K	298	
Temperatura substrato dove avviene il rilascio	K	298	
Velocità del vento	m/s	2,5	
Categoria di stabilità atmosferica	F+G - Stabile		
Parametro di rugosità	m	0,5	
Tipologia pozza	2 - Circolare		
Diametro della pozza/serbatoio	m	20	
Quota di calcolo dell'irraggiamento	m	1,5	
Umidità relativa dell'atmosfera	frazione	0,6	
Irraggiamento solare	kW/m <sup>2</sup>	1	
Altezza dello schermo	m	4	
Distanza dello schermo	m	5	
IRRAGGIAMENTO da POZZA			
distanza	----- irraggiamento kW/m <sup>2</sup> -----		
	verticale	orizzontale	massimo
5	18,3	8,7	20,3
6	13,7	6,3	15,0
7	14,1	6,5	15,6
8	13,5	6,1	14,9
9	12,8	5,6	14,0
10	12,1	5,2	13,2
11	11,4	4,7	12,4
12	10,8	4,4	11,6
13	10,2	4,0	10,9
14	9,6	3,7	10,3
15	9,1	3,4	9,7
16	8,6	3,1	9,1
17	8,1	2,9	8,6
18	7,7	2,7	8,1

Stampa dell'irraggiamento su bersagli (pareti) verticali, orizzontali e con inclinazione uguale a quella della fiamma. Passo di calcolo = 1 m fino a 20 m dal margine pozza, poi 5 m fino a 50 m, quindi 10 m. Nel margine inferiore si stampa la lunghezza della fiamma, il rateo di combustione e l'angolo d'inclinazione della fiamma.

Nella versione "progettazione" dov'è possibile ottenere le indicazioni sull'altezza o sulla distanza dello schermo la stampa sarà simile a quelle riportate di seguito.

**Figura 59 – irraggiamento con schermo (versione P)**

**S T A R**

**Safety Techniques for Assessment of Risk**

**Altezza schermo in funzione della distanza**

Codice: 219 Sostanza: XILENE MISCELA DI ISOMERI

Modello: Irraggiamento

Data del calcolo: 17/08/2020

Fase o tipo di sostanza che fuoriesce	Liquido
Pressione di rilascio	bar (abs) 1
Diametro equivalente del foro di uscita	m 0,01
Temperatura della sostanza che fuoriesce	K 298
Temperatura ambiente	K 298
Temperatura substrato dove avviene il rilascio	K 298
Velocità del vento	m/s 2,5
Categoria di stabilità atmosferica	F+G - Stabile
Parametro di rugosità	m 0,5
Tipologia pozza	1 - Rettangolare
Dimensione lato frontale della pozza	m 10
Dimensione lato laterale della pozza	m 10
Quota di calcolo dell'irraggiamento	m 1,5
Umidità relativa dell'atmosfera	frazione 0,6
Irraggiamento solare	kW/m <sup>2</sup> 1
Altezza dello schermo	m 0
Distanza dello schermo	m 5

**IRRAGGIAMENTO da POZZA**

distanza di calcolo	----- irraggiamento kW/m <sup>2</sup> ----- verticale	orizzontale	----- massimo	distanza schermo	altezza schermo	Ir max con schermo kW/m <sup>2</sup>
4	18,0	12,6	22,0	5,0	0,0	22,0
5	16,4	10,8	19,6	5,0	0,0	19,6
6	14,7	9,3	17,4	5,0	3,7	4,3
7	13,3	8,1	15,5	5,0	5,2	3,4
8	12,0	7,0	13,9	5,0	6,4	2,8
9	10,9	6,1	12,5	5,0	7,3	2,3
10	9,9	5,4	11,3	5,0	8,0	1,9
11	9,0	4,8	10,2	5,0	8,6	1,6
12	8,3	4,2	9,3	5,0	9,1	1,4
13	7,6	3,7	8,5	5,0	9,6	1,2
14	7,0	3,3	7,7	5,0	9,9	1,0
15	6,4	3,0	7,1	5,0	10,2	0,9

Lunghezza fiamma m 19  
 Burning rate kg/m<sup>2</sup>s 0,072  
 Angolo inclinazione fiamma ° 30

È fornita l'altezza che deve avere uno schermo posto alla distanza di 5 m dal margine pozza perché sul bersaglio posto alla distanza di calcolo vi sia l'irraggiamento indicato nell'ultima colonna a destra. In alternativa si ha l'indicazione della distanza dato uno schermo di altezza fissa 4 m.

**Figura 60 – irraggiamento con schermo (versione P)**

**S T A R**

**Safety Techniques for Assessment of Risk**

**Distanza schermo di H=4 m**

Codice: 219 Sostanza: XILENE MISCELA DI ISOMERI

Modello: Irraggiamento

Data del calcolo: 17/08/2020

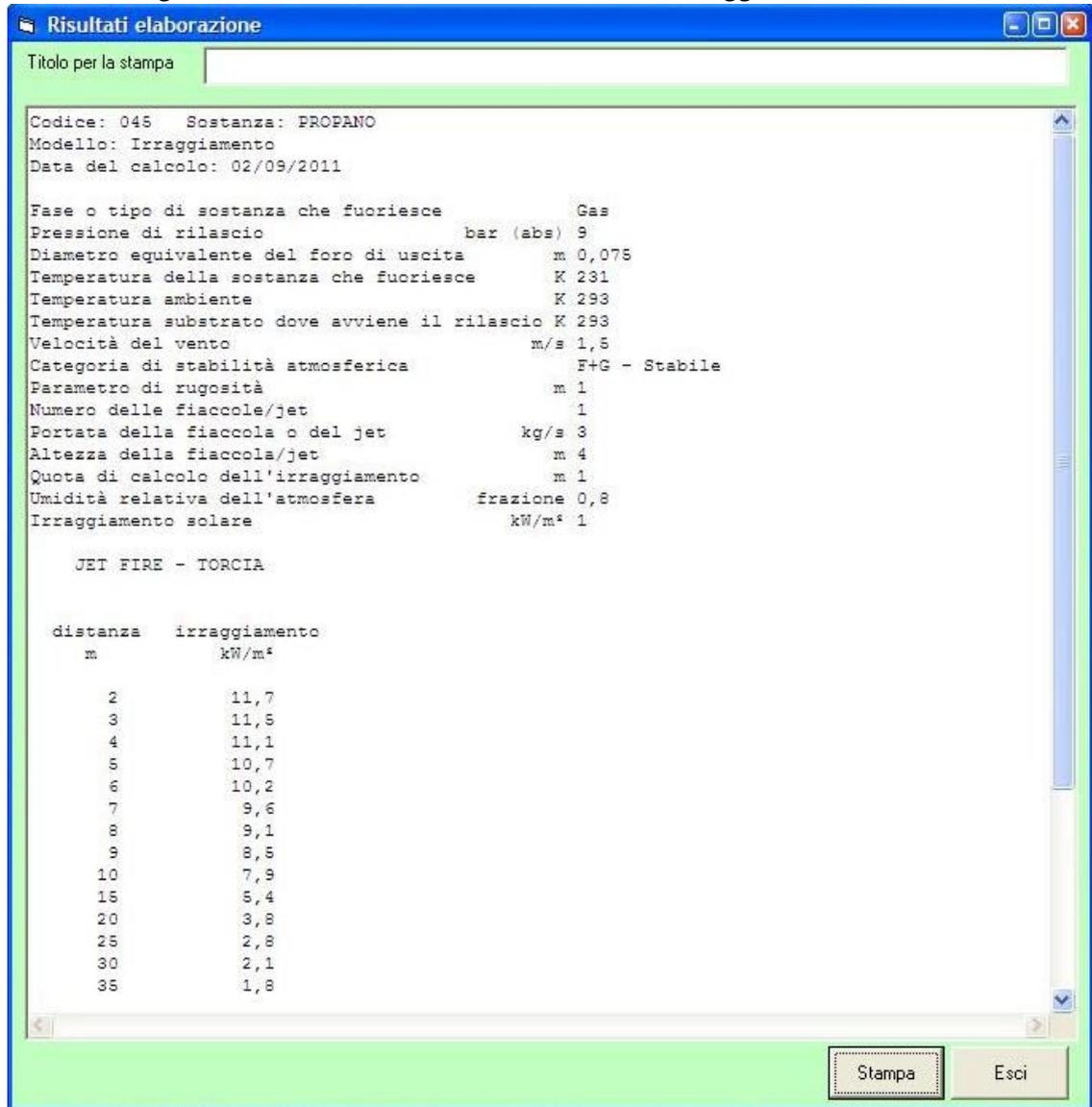
Fase o tipo di sostanza che fuoriesce	Liquido
Pressione di rilascio	bar (abs) 1
Diametro equivalente del foro di uscita	m 0,01
Temperatura della sostanza che fuoriesce	K 298
Temperatura ambiente	K 298
Temperatura substrato dove avviene il rilascio	K 298
Velocità del vento	m/s 2,5
Categoria di stabilità atmosferica	F+G - Stabile
Parametro di rugosità	m 0,5
Tipologia pozza	1 - Rettangolare
Dimensione lato frontale della pozza	m 10
Dimensione lato laterale della pozza	m 10
Quota di calcolo dell'irraggiamento	m 1,5
Umidità relativa dell'atmosfera	frazione 0,6
Irraggiamento solare	kW/m <sup>2</sup> 1
Altezza dello schermo	m 4
Distanza dello schermo	m 0

**IRRAGGIAMENTO da POZZA**

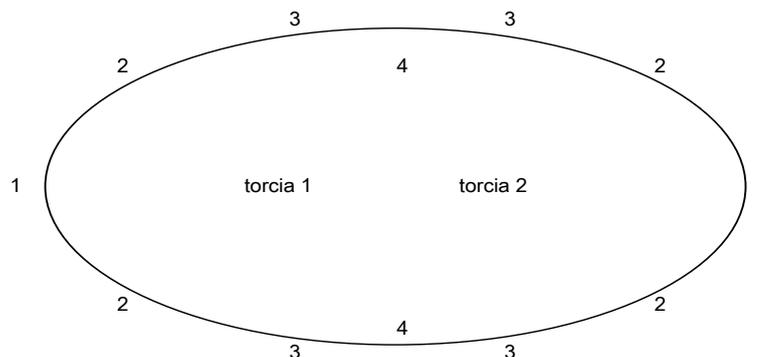
distanza di calcolo	irraggiamento kW/m <sup>2</sup>			distanza schermo	altezza schermo	Ir max con schermo kW/m <sup>2</sup>
	verticale	orizzontale	massimo			
4	18,0	12,6	22,0	0,8	4,0	21,4
5	16,4	10,8	19,6	1,0	4,0	18,9
6	14,7	9,3	17,4	1,2	4,0	16,6
7	13,3	8,1	15,5	1,3	4,0	14,6
8	12,0	7,0	13,9	1,5	4,0	12,9
9	10,9	6,1	12,5	1,7	4,0	11,4
10	9,9	5,4	11,3	1,9	4,0	10,2
11	9,0	4,8	10,2	2,1	4,0	9,1
12	8,3	4,2	9,3	2,3	4,0	8,1
13	7,6	3,7	8,5	2,5	4,0	7,3
14	7,0	3,3	7,7	2,7	4,0	6,6
15	6,4	3,0	7,1	2,9	4,0	6,0

Per le simulazioni di jet fire o di torcia, la rappresentazione viene fornita in una forma diversa, in quanto è fornito solo l'irraggiamento massimo, come illustrato nella figura seguente.

**Figura 61 – es. visualizzazione risultati calcolo irraggiamento da torcia**



Nel caso di simulazione riferita a due torce vi saranno più colonne riferite a 4 posizioni situate come indicato nel tabulato ed esemplificato di seguito.



La stampa dei risultati per la simulazione di un fireball è riportata di seguito.

**Figura 62 – es. stampa risultati fire-ball**

**S T A R**

**Safety Techniques for Assessment of Risk**

**Scenario #1**

Codice: 116 Sostanza: METILETERE

Modello: Irraggiamento

Data del calcolo: 04/05/2014

Fase o tipo di sostanza che fuoriesce	Gas liquefatto
Pressione di rilascio	bar (abs) 4
Diametro equivalente del foro di uscita	m 0,1
Temperatura della sostanza che fuoriesce	K 333
Temperatura ambiente	K 293
Temperatura substrato dove avviene il rilascio	K 293
Velocità del vento	m/s 5
Categoria di stabilità atmosferica	D - Neutrale
Parametro di rugosità	m 0,7
Massa di sostanza coinvolta	t 3
Umidità relativa dell'atmosfera	frazione 0,7
Irraggiamento solare	kW/m <sup>2</sup> 0,9

**IRRAGGIAMENTO da FIRE BALL**

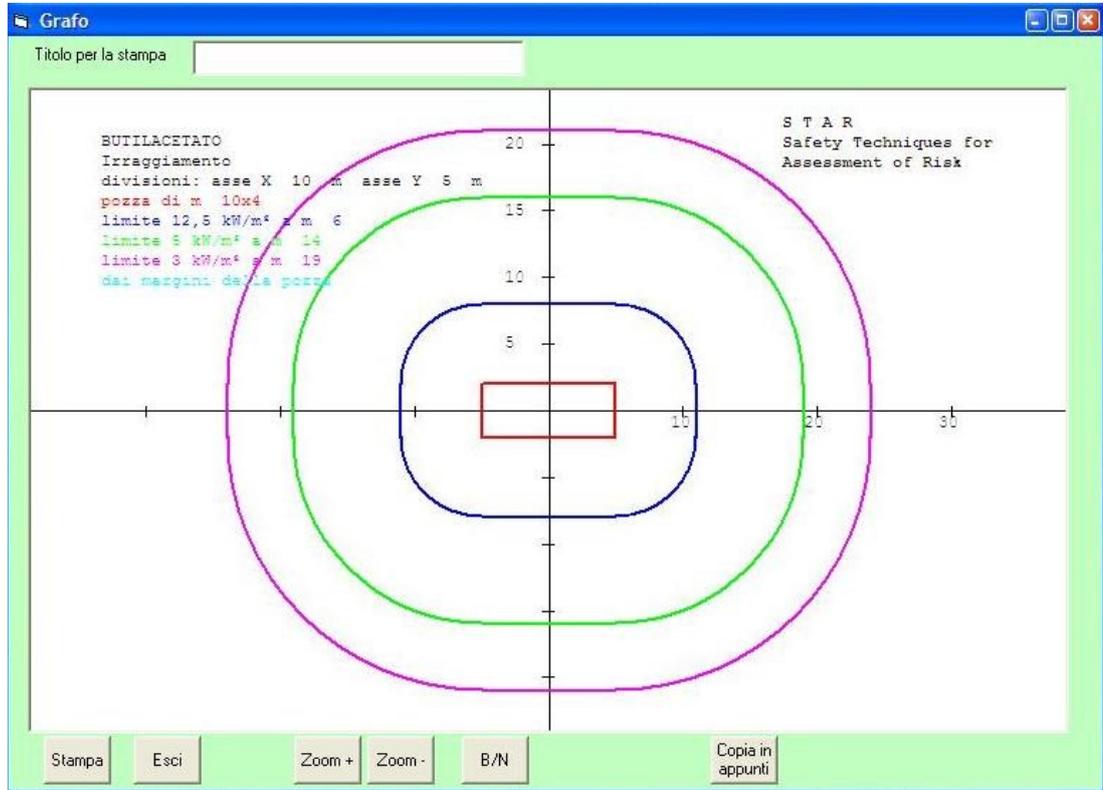
distanza m	irraggiamento kW/m <sup>2</sup>	dose kJ/m <sup>2</sup>
10	43	286
20	39	264
30	36	242
40	30	200
50	27	179
60	24	159
70	21	140
80	18	124
90	16	109
100	14	97
125	11	72
150	8	54

Irraggiamento <= alla dose per dolore

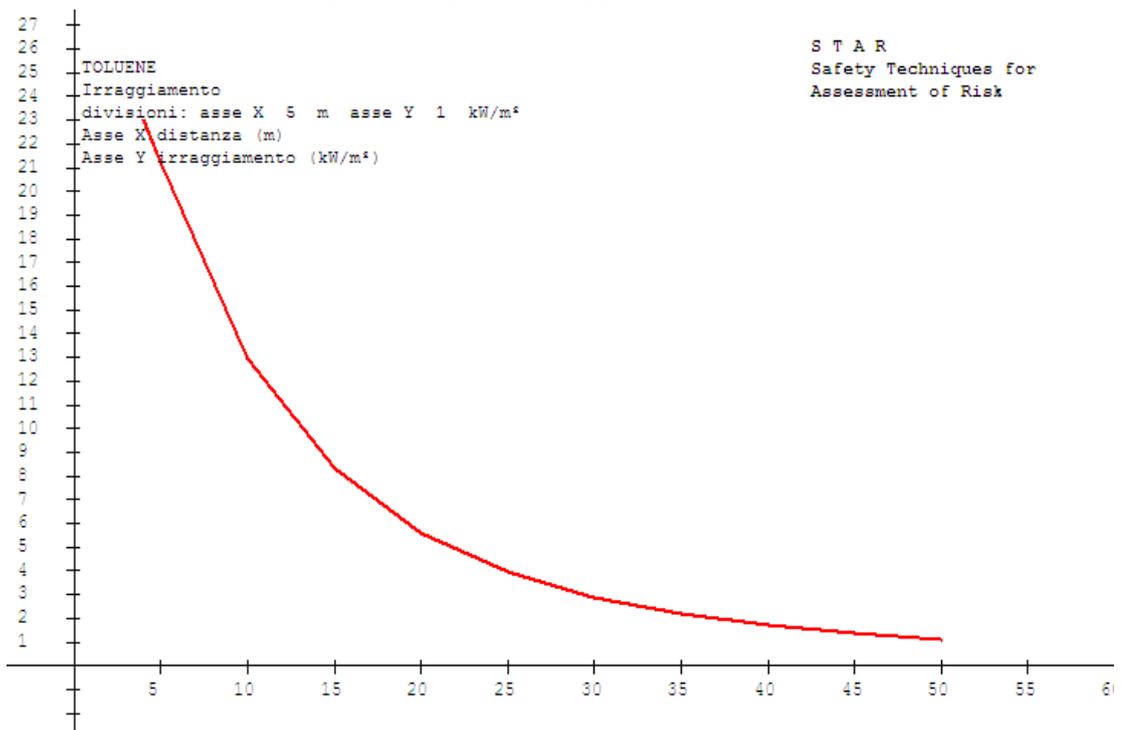
Durata del Fire Ball	s 6,7
Altezza	m 87,4
Raggio del fireball	m 39,6

La forma dei grafici viene esemplificata nella figura seguente con riferimento ad una simulazione di un pool fire da pozza di geometria rettangolare.

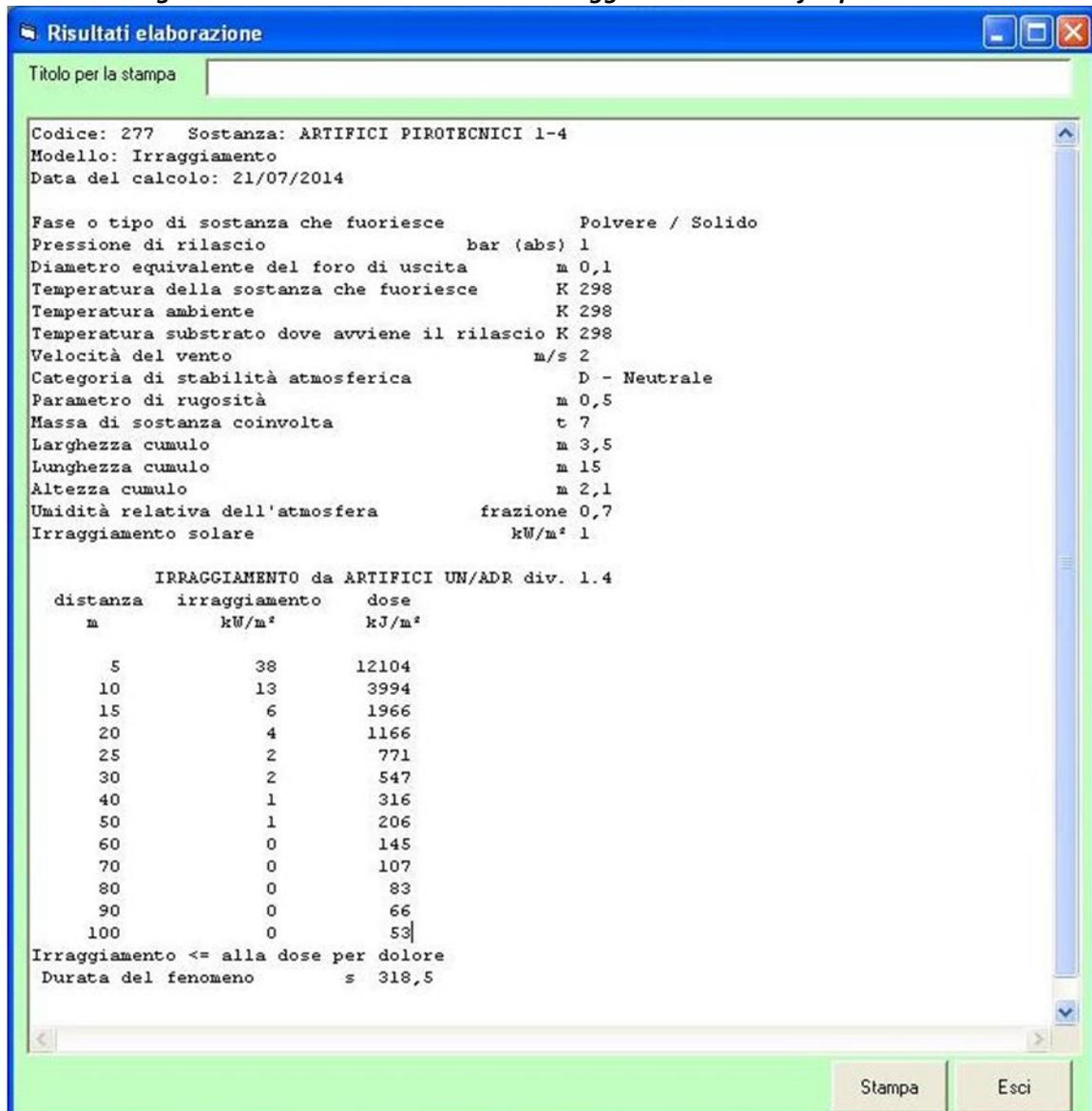
**Figura 63 – grafico isoplete irraggiamento da pool fire**



**Figura 64 – grafico irraggiamento vs distanza**



**Figura 65 – visualizzazione risultati irraggiamento da artifici pirotecnici**



Per gli artifici della classe ADR 1-3 la stampa è pressoché uguale.

Nel caso di irraggiamento da aperture di fabbricati in fiamme viene stampato sia il valore calcolato analiticamente (irraggiamento in kW/m<sup>2</sup> in funzione della distanza), sia la "distanza di separazione" stimata con il metodo tabellare (riferita alla soglia di 12,6 kW/m<sup>2</sup>), come esemplificato nel facsimile seguente.

**Figura 66 – irraggiamento da aperture fabbricato**

**S T A R**

Safety Techniques for Assessment of Risk

Codice: 274 Sostanza: IMBALLI LEGNO-PLASTICA

Modello: Irraggiamento da aperture fabbricato

Data del calcolo: 17/08/2020

Fase o tipo di sostanza che fuoriesce	Polvere / Solido
Pressione di rilascio	bar (abs) 1
Diametro equivalente del foro di uscita	m 0,1
Temperatura della sostanza che fuoriesce	K 298
Temperatura ambiente	K 298
Temperatura substrato dove avviene il rilascio	K 298
Velocità del vento	m/s 3
Categoria di stabilità atmosferica	A - Forte instabilità
Parametro di rugosità	m 0,1
Superficie totale delle aperture radianti	m <sup>2</sup> 20
Carico d'incendio totale	kJ/m <sup>2</sup> 255000
Larghezza del fronte dell'edificio	m 12
Altezza dell'edificio	m 6

**IRRAGGIAMENTO da APERTURE FABBRICATO**

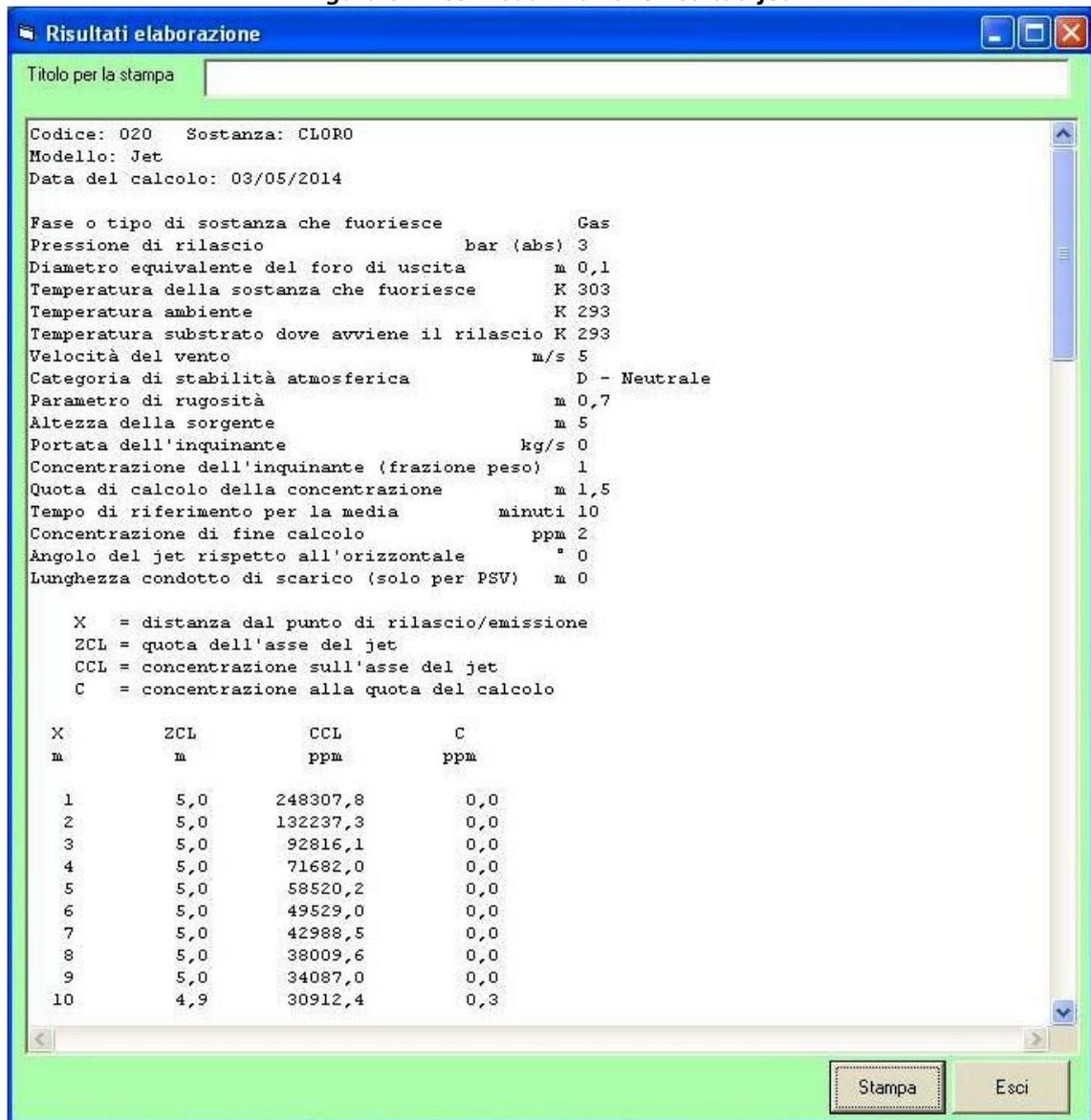
distanza	irraggiamento kW/m <sup>2</sup>
3	34,5
4	24,0
5	17,3
6	12,9
7	9,9
8	7,9
9	6,3
10	5,2
11	4,4
12	3,7
13	3,2
14	2,8
15	2,4
16	2,1
17	1,9
18	1,7
19	1,5

Distanza di separazione secondo  
 metodo tabellare DM 3-8-2015 = m 6,5

#### 4.4 JET

Scegliendo l'opzione "Tabulato" al termine dell'elaborazione, si visualizza il risultato del calcolo come nella figura seguente.

Figura 67 – es. visualizzazione risultati jet



Per la stampa è possibile inserire un titolo o una nota entro la casella in alto "Titolo per la stampa", quindi cliccare sulla casella "Stampa". Un esempio di stampa è riportato nella Figura che segue.

**Figura 68 – es. stampa jet bifase**

**S T A R**

**Safety Techniques for Assessment of Risk**

Codice: 011 Sostanza: AMMONIACA

Modello: Jet

Data del calcolo: 27/04/2014

Fase o tipo di sostanza che fuoriesce	Gas liquefatto
Pressione di rilascio	bar (abs) 8,5
Diametro equivalente del foro di uscita	m 0,025
Temperatura della sostanza che fuoriesce	K 293
Temperatura ambiente	K 293
Temperatura substrato dove avviene il rilascio	K 293
Velocità del vento	m/s 1
Categoria di stabilità atmosferica	D - Neutrale
Parametro di rugosità	m 1
Altezza della sorgente	m 2
Portata dell'inquinante	kg/s 2
Densità media dell'efflusso	kg/mc 63
Quota di calcolo della concentrazione	m 1,5
Tempo di riferimento per la media	minuti 5
Concentrazione di fine calcolo	ppm 300
Angolo del jet rispetto all'orizzontale	° 0
Lunghezza condotto di scarico (solo per PSV)	m 0

X = distanza dal punto di rilascio/emissione  
 ZCL = quota dell'asse del jet  
 CCL = concentrazione sull'asse del jet  
 C = concentrazione alla quota del calcolo

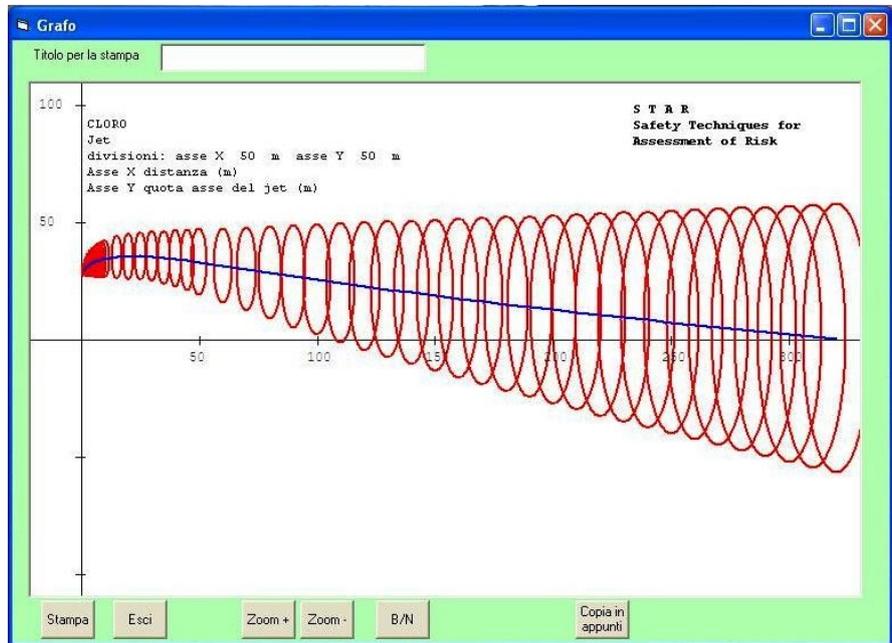
X	ZCL	CCL	C
m	m	ppm	ppm
1	2,0	115706,5	4,0
2	2,0	64861,4	1469,2
3	2,0	45367,0	4744,3
4	2,1	34830,4	6495,1
5	2,1	28128,8	6783,3
6	2,2	23443,8	6337,2
7	2,3	19963,9	5611,3
8	2,4	17269,9	4830,1
9	2,5	15121,8	4094,1
10	2,6	13371,1	3442,2

Al termine del tabulato sono stampate anche la velocità e la portata di efflusso e, nel caso di sostanze infiammabili, la quantità massima compresa nel campo di infiammabilità.

Per il modello jet sono anche disponibili i grafici seguenti.

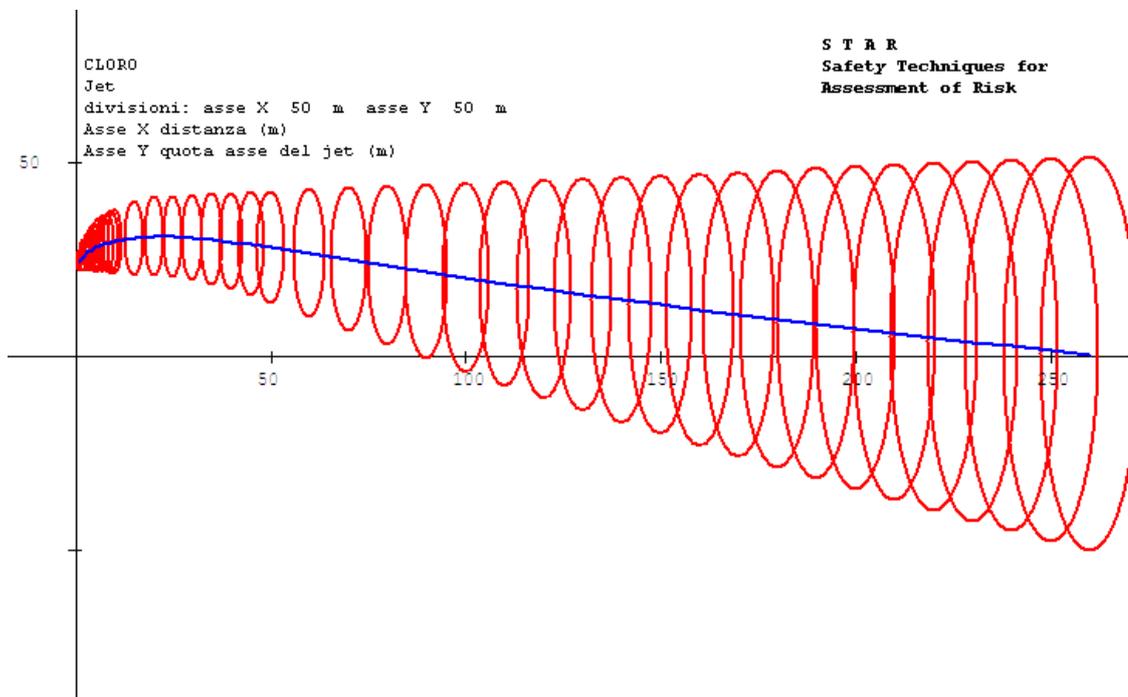
**Figura 69 – es. visualizzazione grafico traiettoria jet**

Il grafico della traiettoria di un jet di gas a densità > dell'aria può essere stampato sia cliccando sulla casella "Stampa", sia cliccando sulla casella "Copia in appunti" per poi inserirlo in un documento (come nell'esempio che segue). Con le caselle Zoom si



possono ingrandire o ridurre le dimensioni. È inoltre possibile passare alla visualizzazione in Bianco/Nero cliccando sulla casella B/N ed anche utilizzare i pulsanti "Ctrl+Stamp" della tastiera.

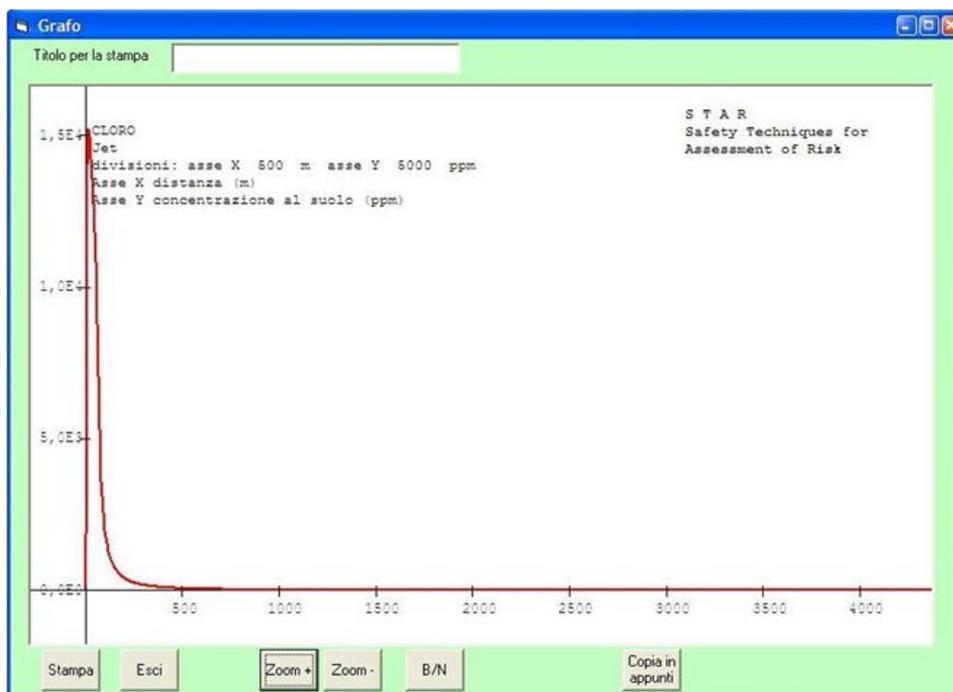
**Figura 70 – es. stampa da appunti**



La concentrazione in funzione della distanza è riportata come di seguito.

**Figura 71 – es. grafico concentrazione vs distanza**

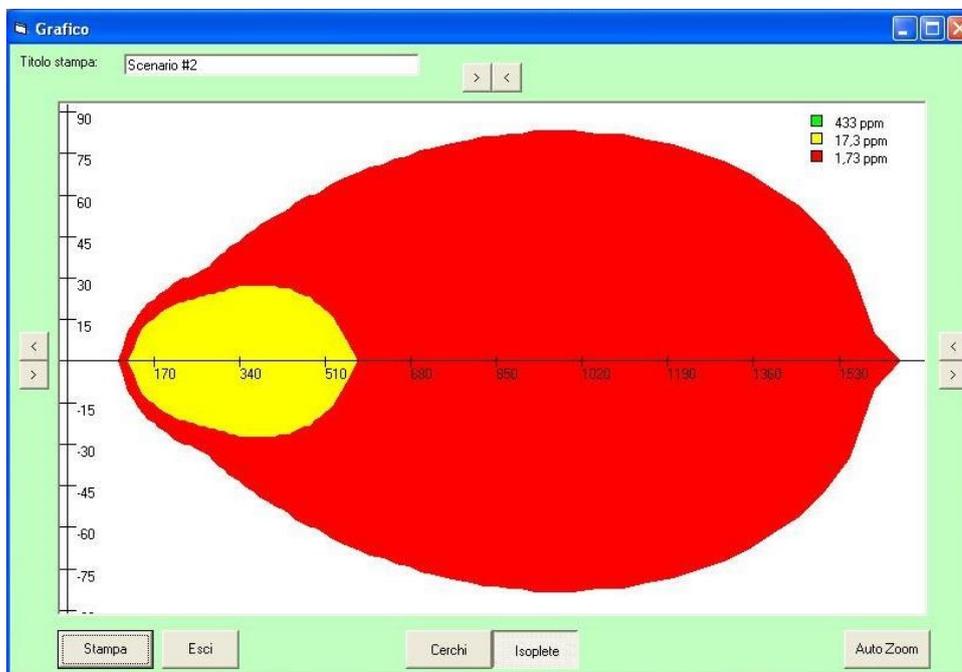
Le caselle in basso, per la stampa, ecc. sono sempre le stesse del grafico precedente.



Per quanto riguarda le aree interessate dalle concentrazioni superiori alle soglie predefinite ed inserite nel file della banca dati (file "codice".pro – esempio: 020.pro) il grafico è il seguente.

**Figura 72 – es. grafico isoplete jet**

Per variare le dimensioni si usano le caselle < (ridurre) e > (aumentare) mentre per la stampa si clicca sulla apposita casella oppure si usano i tasti Ctrl+Stamp per salvare in "appunti".



## 4.5 DISPERSIONE

Il tabulato di stampa del modello per rilasci puntiformi è riportato di seguito.

**Figura 73 – es. tabulato dei risultati modelli dispersione**

S T A R						
Safety Techniques for Assessment of Risk						
Emissione puntiforme						
Codice: 103		Sostanza: TETRAIDROFURANO				
Modello: Sorgenti puntiformi continue a quota del terreno (Huang)						
Data del calcolo: 03/05/2012						
Fase o tipo di sostanza che fuoriesce	Liquido					
Temperatura della sostanza che fuoriesce	K 293					
Temperatura ambiente	K 293					
Temperatura substrato dove avviene il rilascio	K 293					
Velocità del vento	m/s 3					
Categoria di stabilità atmosferica	D - Neutrale					
Parametro di rugosità	m 0,7					
Altezza della sorgente	m 1					
Portata dell'inquinante	kg/s 0,3					
Concentrazione dell'inquinante	kg/kg 1					
Tempo di riferimento per la media	minuti 5					
Passo di calcolo sull'asse Y	m 25					
Quota di calcolo	m 1					
Concentrazione di fine calcolo	ppm 1000					
- Rilascio continuo -						
tempo s	distanza m	C mg/mc	Cx	Cy1 concentrazioni ppm	Cy2	
1	3	137224,500	45749,290	0,000	0,000	
1	4	77198,100	25737,100	0,000	0,000	
2	5	49412,800	16473,750	0,000	0,000	
2	6	34318,600	11441,490	0,000	0,000	
2	7	25216,700	8407,013	0,000	0,000	
3	8	19308,900	6437,400	0,000	0,000	
3	9	15258,300	5086,957	0,000	0,000	
3	10	12360,700	4120,935	0,000	0,000	
5	15	5497,000	1832,635	0,000	0,000	
7	20	3093,900	1031,480	0,000	0,000	
10	30	1376,700	458,988	0,000	0,000	
13	40	775,300	258,491	0,000	0,000	
17	50	496,800	165,633	0,000	0,000	
20	60	345,400	115,160	0,012	0,000	
23	70	254,100	84,708	0,098	0,000	
27	80	194,800	64,932	0,361	0,000	
Quantità max nel campo di infiammabilità				kg 0,2		
Baricentro della nube di mix infiammabile a 3,6 m sottovento al margine pozza od al punto di rilascio						
LFL situato a				m 4,6		
0.5LFL situato a				m 6,5		

La concentrazione sull'asse X (center-line) è data in mg/m<sup>3</sup> (colonna C) ed in ppm (colonna Cx) e riferita alla distanza ed al tempo di arrivo. Cy1 e Cy2 sono le concentrazioni a 25 m ed a 50 m dall'asse X.

I risultati di altri modelli sono rappresentati a video come illustrato nelle figure seguenti.

**Figura 74 – es. videata dispersione modello “box” (Crunch) rilasci continui**

Per stampare, scrivere il titolo nella casella in alto, quindi cliccare su “Stampa” e seguire le istruzioni per scegliere la stampante (in genere il formato è .pdf) ed il nome del file.

Il tempo è riferito all’istante iniziale del rilascio. La distanza si misura dalla sorgente. Larghezza e altezza sono le dimensioni della nube riferite alla distanza ed al tempo di arrivo.

La temperatura è quella della nube di cui viene riportata la concentrazione nella ultima colonna a destra.

Titolo per la stampa

Codice: 011 Sostanza: AMMONIACA  
 Modello: Rilascio continuo stazionario - modello Crunch  
 Data del calcolo: 19/08/2009

Fase o tipo di sostanza che fuoriesce Gas liquefatto  
 Temperatura della sostanza che fuoriesce K 240  
 Temperatura ambiente K 293  
 Temperatura substrato dove avviene il rilascio K 298  
 Velocità del vento m/s 2  
 Categoria di stabilità atmosferica D - Neutrale  
 Parametro di rugosità m 0,09  
 Altezza della sorgente m 1  
 Larghezza pozza o sorgente m 2  
 Portata dell'inquinante kg/s 1,72  
 Concentrazione dell'inquinante kg/kg 1  
 Tempo di riferimento per la media minuti 30  
 Passo di calcolo sull'asse Y m 25  
 Quota di calcolo m 1  
 Concentrazione di fine calcolo ppm 50

- Rilascio continuo -

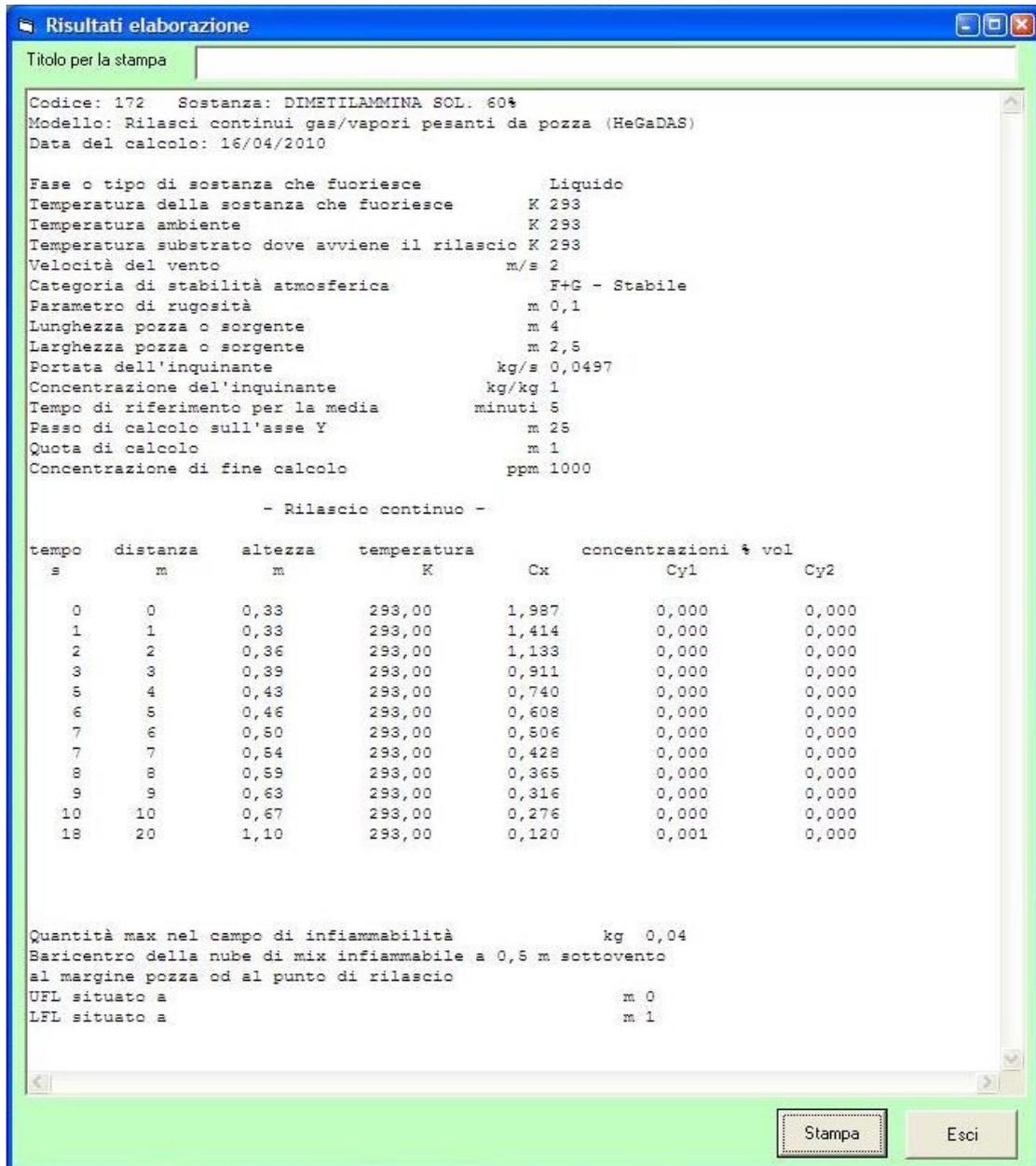
tempo s	distanza m	larghezza m	altezza m	temperatura K	concentrazione % vol
0	0	2,0	1,0	240,0	100,000
1	1	3,5	0,6	262,8	53,067
1	2	4,7	0,8	272,8	34,611
2	3	5,8	0,9	278,1	25,146
3	4	6,8	1,1	281,4	19,497
3	5	7,7	1,2	283,6	15,772
4	6	8,6	1,3	285,1	13,150
5	7	9,4	1,4	286,3	11,213
5	8	10,2	1,5	287,2	9,729
6	9	10,9	1,6	287,9	8,559
7	10	11,6	1,7	288,4	7,616
10	15	14,9	2,1	290,2	4,770
13	20	17,8	2,5	291,0	3,370
16	25	20,4	2,8	291,5	2,553
19	30	22,8	3,2	291,8	2,026
22	35	25,1	3,5	292,1	1,661
25	40	27,3	3,8	292,2	1,396
28	45	29,3	4,2	292,3	1,196
31	50	31,2	4,5	292,4	1,040
37	60	34,9	5,1	292,6	0,816
43	70	38,2	5,7	292,7	0,664
49	80	41,4	6,3	292,7	0,555

Stampa Esci

Questo tabulato si riferisce al modello Crunch per **rilasci continui** di vapori pesanti (per rilasci istantanei o brevi vedere nel seguito) e descrive la fase gravitazionale, che termina quando la densità della nube è pressoché uguale a quella dell’aria. Nella fase successiva il tabulato riporterà solo il tempo, la distanza e le concentrazioni sull’asse (center line che rappresenta la direzione del vento) e su punti situati lungo parallele al center line alla distanza inserita dall’utente come “Passo di calcolo sull’asse Y”.

I modelli per rilasci continui di gas/vapori pesanti (codici ADCM e AHega) forniscono la massa di gas compresa nel campo di infiammabilità, le distanze a cui sono attese le concentrazioni UFL ed LFL e la distanza del baricentro della nube per l’eventuale valutazione della UVCE, come esemplificato nella seguente figura.

**Figura 75 – es. video risultati modello AHega (rilasci continui)**



In questo tabulato i valori riportati nella colonna Cx si riferiscono al center line, quelli delle colonne Cy1 e Cy2 sono riferiti a punti situati su parallele ideali del center line site rispettivamente a 25 e 50 m (valore impostato dall'utente nel menù di input con la voce "Passo di calcolo").  
 Un altro esempio di tabulato di dispersione da sorgenti lineari (codice AHuang) viene riportato nella seguente figura.

**Figura 76 - tabulato dei risultati della dispersione (sorgenti lineari)**

**S T A R**

Safety Techniques for Assessment of Risk

**Esempio**

Codice: 010 Sostanza: ALCOOL METILICO

Modello: Sorgenti lineari quota terra o pozze (rateo <0.05 kg/m2s)

Data del calcolo: 10/06/2019

Fase o tipo di sostanza che fuoriesce	Liquido
Temperatura della sostanza che fuoriesce	K 293
Temperatura ambiente	K 293
Temperatura substrato dove avviene il rilascio	K 293
Velocità del vento	m/s 3
Categoria di stabilità atmosferica	D - Neutrale
Parametro di rugosità	m 0,5
Altezza della sorgente	m 0,7
Larghezza pozza o sorgente	m 20
Portata dell'inquinante	kg/s 1,03
Concentrazione dell'inquinante	kg/kg 1
Tempo di riferimento per la media	minuti 30
Passo di calcolo sull'asse Y	m 3
Quota di calcolo	m 1,5
Concentrazione di fine calcolo	ppm 400
Distanza fabbricato da sorgente	m 10
Altezza del fabbricato	m 6
Larghezza del fabbricato	m 30

- Rilascio continuo -

tempo s	distanza m	center line	concentrazioni ppm pool edge	Cy2	Cy3
1	4	125205,300	62602,640	0,000	0,000
2	5	70454,290	35227,140	0,000	0,000
2	6	50110,570	25055,280	0,001	0,000
2	7	38631,140	19315,570	0,105	0,000
3	8	30557,580	15278,790	1,695	0,000
3	9	24528,000	12264,000	10,184	0,000
3	10	18099,530	9049,767	53,600	0,000
5	15	2521,076	1260,629	619,056	73,309
7	20	1795,050	898,235	540,815	118,039
10	30	1034,098	522,459	388,665	160,010
13	40	657,229	341,558	281,361	157,277
17	50	442,609	240,692	209,873	139,136
20	60	310,679	178,505	161,183	118,665

Quantità max nel campo di infiammabilità kg 0,8  
 Baricentro della nube di mix infiammabile a 4,25 m sottovento  
 al margine pozza od al punto di rilascio  
 LFL situato a m 5,5  
 0.5LFL situato a m 8,1

Il termine "baricentro della nube di mix infiammabile" si riferisce ad un punto centrale della nube al quale far riferimento nell'eventuale calcolo della UVCE, dato che la sovrappressione è riferita al centro della nube infiammabile.

Un esempio del tabulato fornito dal modello per cortine d'acqua è nella seguente figura.

**Figura 77 – es. tabulato risultati modello cortine d'acqua**

**S T A R**

Safety Techniques for Assessment of Risk

**Esempio cortine**

Codice: 093 Sostanza: DIMETILAMMINA

Modello: Cortina ascendente con ugelli conici

Data del calcolo: 03/05/2012

Angolo di uscita degli ugelli	°	60
Numero di flusso ugelli	L/(s·VPa)	0,0075
Pressione dell'acqua	kPa	800
Spaziatura degli spruzzatori	m	2
Distanza della cortina dalla sorgente	m	10
Estensione della cortina (lunghezza)	m	20
Diametro equivalente del getto	m	5,62
Lunghezza efficiente della cortina	m	15,49
Fabbisogno acqua	mc/h	265,64
Numero di ugelli necessario		11
Altezza muretto	m	2,03
Altezza efficiente della cortina	m	5,7

distanza m	concentrazioni (% vol)		riduzione %
	senza cortina	con cortina	
5	19,377	19,377	0,0
6	13,440	13,440	0,0
7	9,853	9,853	0,0
8	7,508	7,508	0,0
9	5,881	5,881	0,0
10	4,700	4,700	0,0
15	1,846	0,219	88,2
20	0,884	0,127	85,6
30	0,290	0,053	81,9
40	0,127	0,028	77,7
50	0,067	0,018	73,6
60	0,039	0,012	69,7
70	0,025	0,008	66,1
80	0,017	0,006	62,8
90	0,012	0,005	59,7
100	0,009	0,004	56,9

Le concentrazioni (in % vol) riportate nella colonna "senza cortina" corrispondono a quelle (in ppm) della colonna Cx del tabulato della dispersione: è evidente l'efficacia della cortina nella diluizione a partire da 15 m.

Nel caso di rilasci istantanei o molto brevi si usa il modello box ADCM con la formulazione tratta dal modello DENZ del SRD-UK. Il tabulato sarà come illustrato nelle due figure seguenti.

**Figura 78 – es. tabulato modello istantaneo DENZ (pagina 1)**

S T A R

Safety Techniques for Assessment of Risk

prova

Codice: 045 Sostanza: PROPANO

Modello: Rilascio istantaneo o breve [<4:5'] modello Denz

Data del calcolo: 06/07/2017

Fase o tipo di sostanza che fuoriesce	Gas liquefatto
Temperatura della sostanza che fuoriesce	K 231
Temperatura ambiente	K 293
Temperatura substrato dove avviene il rilascio	K 298
Velocità del vento	m/s 5
Categoria di stabilità atmosferica	D - Neutrale
Parametro di rugosità	m 1
Altezza della sorgente	m 3,5
Diametro della sorgente	m 7
Massa di gas/vapori rilasciata	kg 250
Concentrazione dell'inquinante	kg/kg 1
Passo di calcolo sull'asse Y	m 25
Quota di calcolo	m 1
Concentrazione di fine calcolo	ppm 5000

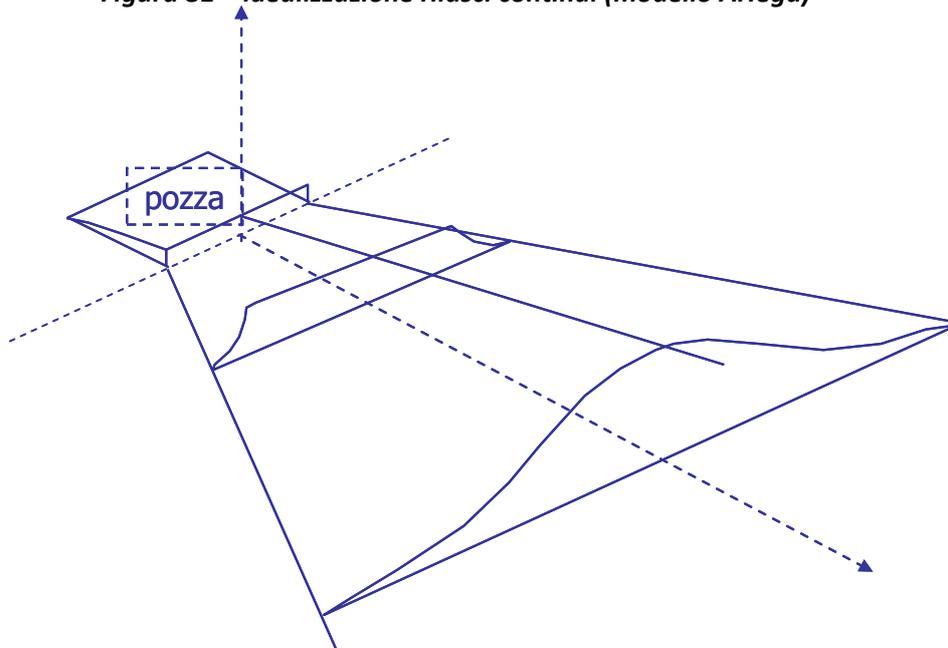
- Rilascio istantaneo -

tempo s	distanza m	larghezza m	altezza m	temperatura K	concentrazione % vol
0	0	7,0	3,5	231,0	100,000
2	5	15,0	1,1	250,6	51,461
4	9	20,2	1,5	268,6	24,191
6	14	24,5	2,0	278,2	13,347
8	19	28,1	2,4	283,1	8,596
10	24	31,3	2,8	285,9	6,056
12	29	34,3	3,2	287,6	4,525
14	34	37,0	3,5	288,8	3,525
16	39	39,5	3,8	289,6	2,834
18	44	41,9	4,2	290,2	2,334
20	49	44,9	4,4	290,7	1,917
22	54	48,8	4,6	291,1	1,550
24	59	52,4	4,9	291,5	1,280
26	64	55,7	5,1	291,7	1,076
28	70	58,9	5,4	291,9	0,918
30	75	61,9	5,7	292,1	0,793



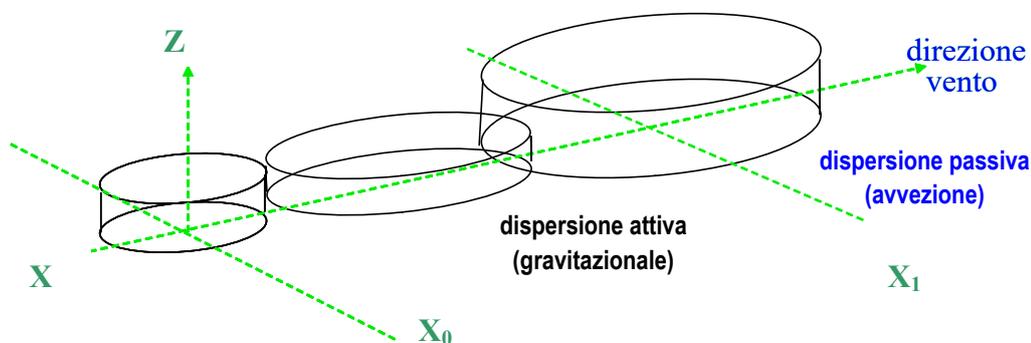
Per modelli di tipo diverso da quelli box, tale rappresentazione rimane valida, anche se la distribuzione di concentrazione viene assunta diversa e calcolata con differenti formulazioni. In proposito si riporta la distribuzione assunta nel modello per gas o vapori pesanti da pozza.

**Figura 81 – idealizzazione rilasci continui (modello AHega)**



Nel caso di rilasci istantanei di gas/vapori pesanti al suolo, per i quali è previsto l'uso del modello box, la rappresentazione della dispersione, illustrata nella seguente figura, è basata sull'assunzione che la nube assume una forma cilindrica e che all'interno la concentrazione è omogenea.

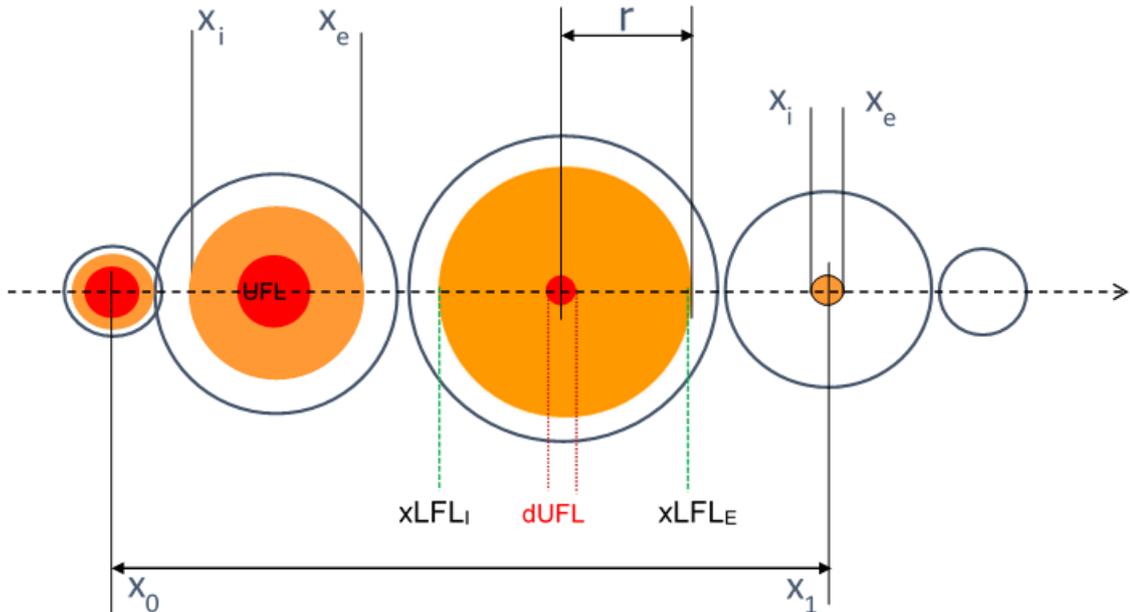
**Figura 82 – idealizzazione rilasci istantanei (modello box)**



Nella realtà, la concentrazione all'interno della nube non sarà omogenea, in quanto ai margini si avrà maggior diluizione che al centro.

In pianta, evidenziando in arancio il campo di infiammabilità, è verosimile attendersi la seguente rappresentazione.

**Figura 83 – idealizzazione in pianta modello box**



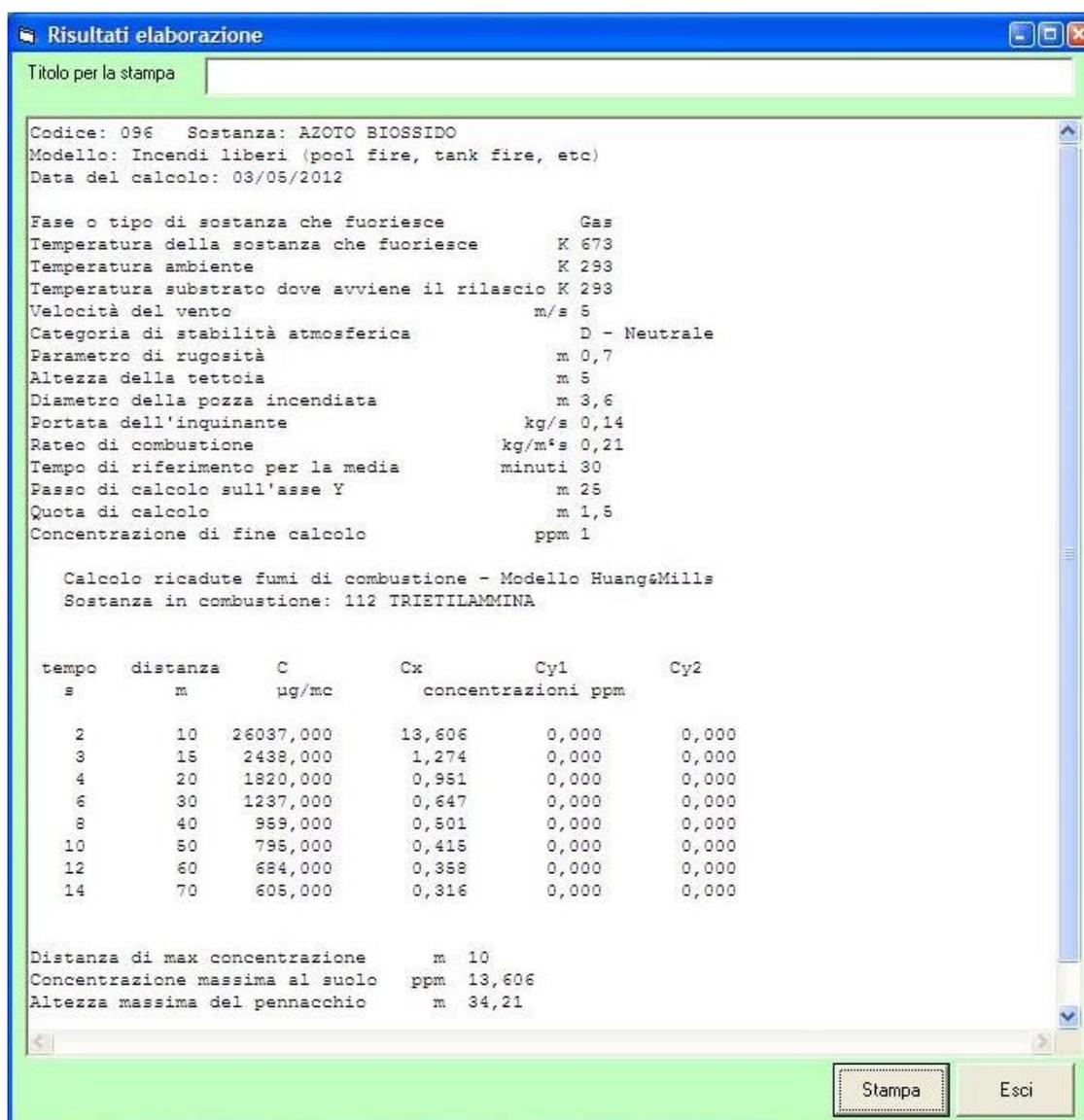
L'associazione con i parametri evidenziati a margine del tabulato diventa pertanto:

- quantità max nel campo di infiammabilità è la maggior massa di gas combustibile presente in concentrazioni infiammabili,
- persistenza della max quantità di infiammabile [t in secondi], calcolata stimando il volume compreso nel cilindro alla distanza a cui è attesa la quantità max, con rif. alla figura soprastante:  $t = \frac{xLFL_E - xLFL_I - dUFL}{u_f} * h * C_{st}$  dove i simboli sono quelli della Figura 83 e:
  - h* è l'altezza della nube (calcolata dal modello),
  - u<sub>f</sub>* è la velocità di avanzamento della nube (calcolata dal modello),
  - C<sub>st</sub>* è la concentrazione del gas assunta pari allo stechiometrico per la combustione.
- baricentro della nube (riferito al momento in cui c'è la max quantità) calcolato come  $(X_1 - X_0)$  ma riferito alla posizione in cui è prevista la quantità max,
- distanza LFL da sorgente rappresenta la distanza tra il centro della nube iniziale ( $X_0$ ) ed il margine più lontano della nube in cui è presente mix infiammabile ( $X_1$ ),
- $[r]$  = raggio nube a concentrazione LFL (m) calcolato dal modello in base all'assunzione illustrata: nella Figura 83 sopra riportata è dato da  $(X_e - X_i)/2$ .

Questa dimensione, però comprende anche lo spazio interessato da miscela in concentrazione > UFL, per cui fornisce un dato cautelativo per eccesso, dato che a tale concentrazione non è attesa combustione.

La rappresentazione dei risultati del modello per il calcolo delle ricadute di fumi da incendi liberi, in una ipotesi di combustione di pozza sotto una tettoia (per esempio per spandimento da fusto) viene visualizzata nella figura seguente.

**Figura 84 – es. visualizzazione risultati ricadute da incendi liberi**



Diversa è la rappresentazione dei risultati nel caso di incendi all'interno di fabbricati; in primo luogo sono maggiori i dati di input, dovendo riportare anche le caratteristiche del fabbricato, poi oltre ai dati sulle concentrazioni della sostanza tossica in funzione della distanza, sono indicati anche alcuni parametri che riguardano la fase di sviluppo dell'incendio, in quanto la portata di fumi che fuoriesce viene riferita al massimo sviluppato.

Uno stralcio di un tabulato è fornito come esempio nella figura seguente.

**Figura 85 – es. stampa risultati ricadute da incendi in fabbricati**

**S T A R**

**Safety Techniques for Assessment of Risk**

**Esempio ricaduta fumi da incendio in magazzino**

Codice: 096    Sostanza: AZOTO BIOSSIDO

Modello: Incendi all'interno di fabbricati

Data del calcolo: 03/05/2012

Fase o tipo di sostanza che fuoriesce	Gas
Temperatura della sostanza che fuoriesce	K 673
Temperatura ambiente	K 293
Temperatura substrato dove avviene il rilascio	K 293
Velocità del vento	m/s 3
Categoria di stabilità atmosferica	E - Leggera stabilità
Parametro di rugosità	m 1
Altezza della fiamma	m 4
Area coperta da fiamme	m <sup>2</sup> 20
Frazione ponderale dell'inquinante nei fumi	0,0049
Rateo di combustione	kg/m <sup>2</sup> s 0,0445
Tempo di riferimento per la media	minuti 30
Passo di calcolo sull'asse Y	m 25
Quota di calcolo	m 1,5
Concentrazione di fine calcolo	ppm 1
Altezza del fabbricato	m 4
Superficie del fabbricato	m <sup>2</sup> 75
Area di sfogo dei fumi	m <sup>2</sup> 26
Sezione delle aperture di entrata aria	m <sup>2</sup> 32

Calcolo ricadute fumi di combustione - Modello gaussiano  
 Sostanza in combustione: 294 CICLOESILISOCIANATO

tempo s	calore sviluppato kW	densità fumi kg/mc	temperatura fumi °C	quota di fumo m	portata fumi kg/s
50	511	0,990	86,640	3,990	4,420
61	752	0,910	115,530	4,000	13,290

distanza m	Concentrazioni µg/mc	ppm
100	17561	9,330
150	12621	6,710
200	9204	4,890

Distanza di max concentrazione	m 50
Concentrazione massima al suolo	ppm 10,56
Altezza massima del pennacchio	m 35,32
Portata fumi in uscita	kg/s 13,28
Portata inquinante	kg/s 0,06
Velocità fumi in uscita	m/s 0,56
Temperatura nel fabbricato	K 388

Di seguito il tabulato fornito dal modello gaussiano (AAsme).

**Figura 86 – es. stampa risultati ricadute da camini**

**S T A R**

Safety Techniques for Assessment of Risk

Codice: 006 Sostanza: ACIDO CLORIDRICO

Modello: Ricaduta in funzione della distanza ASME

Data del calcolo: 17/08/2020

Fase o tipo di sostanza che fuoriesce	Gas
Temperatura della sostanza che fuoriesce	K 293
Temperatura ambiente	K 293
Temperatura substrato dove avviene il rilascio	K 293
Velocità del vento	m/s 3
Categoria di stabilità atmosferica	C - Leggera instabilità
Parametro di rugosità	m 1
Altezza della sorgente	m 10
Diametro della sorgente	m 0,05
Portata dell'inquinante	kg/s 0,05
Portata globale	Nmc/h 2000
Tempo di riferimento per la media	minuti 30
Passo di calcolo sull'asse Y	m 25
Quota di calcolo	m 1,5
Concentrazione di fine calcolo	ppm 5

tempo s	distanza m	concentrazioni		a 25 m ppm
		µg/mc	ppm	
8	25	0	0,0	0,0
17	50	0	0,0	0,0
25	75	0	0,0	0,0
33	100	6	0,0	0,0
42	125	128	0,1	0,0
50	150	621	0,4	0,2
58	175	1497	1,0	0,6
67	200	2500	1,6	1,1
75	225	3390	2,2	1,6
83	250	4056	2,7	2,1
92	275	4486	3,0	2,4
100	300	4715	3,1	2,6
108	325	4791	3,2	2,7
117	350	4757	3,1	2,8
Concentraz. max alla quota di calcolo				ppm 3,1586
				a metri 325
Altezza max di risalita				m 36

Di seguito il facsimile della stampa del modello AHuang (non gaussiano)

**Figura 87 – es. stampa risultati ricadute da camini (modello non gaussiano)**

**S T A R**

**Safety Techniques for Assessment of Risk**

Codice: 006 Sostanza: ACIDO CLORIDRICO

Modello: Concentrazione in funzione della distanza (NON Gaussiano)

Data del calcolo: 17/08/2020

Fase o tipo di sostanza che fuoriesce	Gas
Temperatura della sostanza che fuoriesce	K 298
Temperatura ambiente	K 298
Temperatura substrato dove avviene il rilascio	K 298
Velocità del vento	m/s 3
Categoria di stabilità atmosferica	B - Instabile
Parametro di rugosità	m 1
Altezza della sorgente	m 4
Diametro della sorgente	m 0,05
Portata dell'inquinante	kg/s 0,012
Portata globale	Nmc/h 29
Tempo di riferimento per la media	minuti 10
Passo di calcolo sull'asse Y	m 25
Quota di calcolo	m 1,5
Concentrazione di fine calcolo	ppm 14

tempo s	distanza m	C µg/mc	Cx	Cy1 concentrazioni ppm	Cy2
10	11	90766	60,87	0,00	0,00
11	12	77502	51,97	0,00	0,00
12	13	66877	44,85	0,00	0,00
13	14	58245	39,06	0,00	0,00
14	15	51145	34,30	0,00	0,00
19	20	29387	19,71	0,00	0,00
28	30	13117	8,80	0,00	0,00
37	40	7305	4,90	0,06	0,00
47	50	4615	3,09	0,19	0,00
Distanza di max concentrazione			m 1		
Concentrazione massima al suolo			ppm 327,471		
Altezza massima del pennacchio			m 4,527		

La stampa del modello per rilasci istantanei o brevi è riportata di seguito.

**Figura 88 – es. stampa risultati emissioni brevi/istantanee**

**S T A R**

**Safety Techniques for Assessment of Risk**

Codice: 011 Sostanza: AMMONIACA

Modello: Emissioni istantanee/rilasci brevi (TNO)

Data del calcolo: 17/08/2020

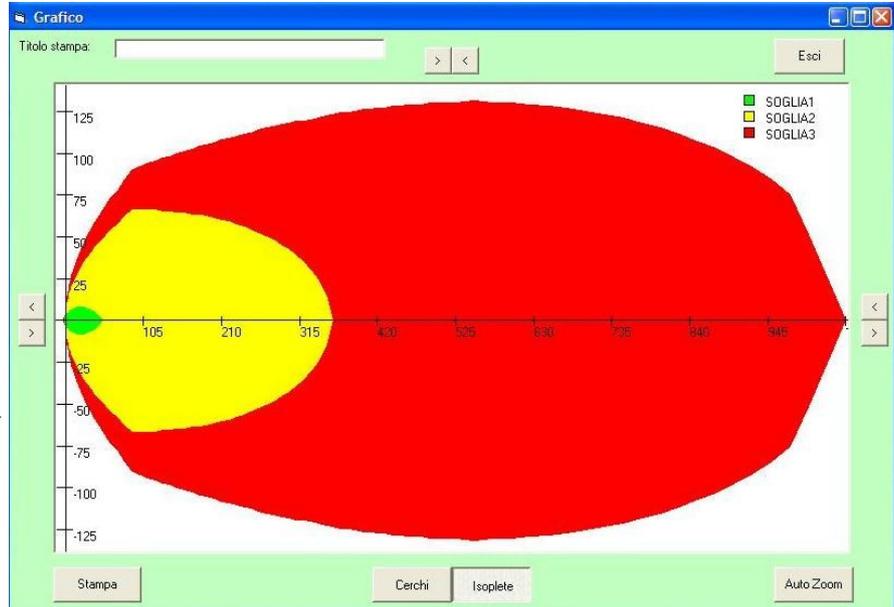
Fase o tipo di sostanza che fuoriesce	Gas
Temperatura della sostanza che fuoriesce	K 298
Temperatura ambiente	K 298
Temperatura substrato dove avviene il rilascio	K 298
Velocità del vento	m/s 5
Categoria di stabilità atmosferica	C - Leggera instabilità
Parametro di rugosità	m 0,1
Altezza della sorgente	m 12
Massa di gas/vapori rilasciata	kg 2,5
Concentrazione dell'inquinante	kg/kg 1
Passo di calcolo sull'asse Y	m 30
Quota di calcolo	m 25
Concentrazione di fine calcolo	ppm 50
Durata dell'emissione	secondi 60

tempo di arr. s	distanza m	concentraz.ppm sull'asse X (center line)	tempo di permanenza (s) ----		
			LC50 19985 ppm	IDLH 520 ppm	LOC 52 ppm
1	5	0,0	0	0	0
2	10	0,0	0	0	0
3	15	0,0	0	0	0
4	20	0,1	0	0	0
5	25	1,3	0	0	0
6	30	6,7	0	0	0
7	35	18,2	0	0	0
8	40	34,7	0	0	0
9	45	53,0	0	0	1
10	50	70,1	0	0	2
12	60	94,9	0	0	4
14	70	105,8	0	0	5
16	80	106,6	0	0	5
18	90	101,5	0	0	6
20	100	93,6	0	0	6
22	110	84,9	0	0	6
24	120	76,3	0	0	6

Per quanto riguarda i grafici delle dispersioni di vapori è possibile ottenerli sia come rappresentazione in pianta che come andamento della concentrazione in funzione della distanza. Di seguito è rappresentato un grafico di isoplete, o linee di isoconcentrazione.

**Figura 89 – esempio di grafico delle isoconcentrazioni**

Per variare le dimensioni o la centratura usare le caselle poste a fianco o superiormente (con i simboli > o <). Per stampare cliccare su "stampa" dopo aver inserito il titolo. La casella "AutoZoom" ripristina il default.



**Figura 90 – esempio di grafico x-y**



## 4.6 ESPLOSIONI

Nel caso di simulazione di esplosioni i tabulati forniscono la sovrappressione in funzione della distanza alla quale essa si manifesta, come illustrato nella figura seguente.

**Figura 91 – esempio di stampa per scenari di esplosione recipienti**

S T A R	
Safety Techniques for Assessment of Risk	
<b>Scenario #4</b>	
Codice:	042 Sostanza: OSSIDO DI ETILENE
Modello:	Esplosione Recipienti - NASA
Data del calcolo:	04/05/2014
Fase o tipo di sostanza che fuoriesce	Gas liquefatto
Pressione massima di esercizio	bar (abs) 3
Temperatura della sostanza che fuoriesce	K 298
Temperatura ambiente	K 293
Modello utilizzato	NASA
Tipo di esplosione	3 - deflagrazione
Tipo di recipiente	5 - cilindro con fondi bombati
Tipo di materiale	1 - Acc. speciali
Frammentazione	2 - da 3 a 30 frammenti di dimensioni varie
Diametro esterno del recipiente	m 2,8
Lunghezza fasciame del recipiente	m 2,7
Spessore del recipiente	mm 6
Frazione di gas nel recipiente	0,5
Lunghezza del frammento	m 1
Larghezza del frammento	m 1
Angolo di partenza del frammento	° 45
Peso recipiente	kg 1116,264
Volume recipiente	mc 21,613
Pressione rottura	Pa 3026052
Peso frammento	kg 47,1
Velocità iniziale	m/s 262
Max distanza a cui arriva il frammento	m 72
Massima altezza a cui arriva il frammento	m 162
Velocità finale	m/s 255
Energia finale	kJ 1531
Statisticamente il frammento rientra nel campo 90 - 80 % dei casi	

Distanza m	Sovrapressione Pa	Impulso Pa*sec
3	58678	184
4	45734	143
5	37191	116

*Il tabulato continua su altra/e pagina/e fino al raggiungimento della soglia minima di sovrappressione.*

*Il modello fornisce l'indicazione della probabilità che il frammento rientri nella statistica dei casi compilata dagli autori (SwRI per conto di US-NASA).*

Nel caso del modello del TNT equivalente il tabulato fornisce solo la sovrappressione ed il fattore

Z (dato dalla relazione  $Z = \frac{dis\ tan\ za}{(massa)^{0,3333}}$ ) in funzione della distanza.

**Figura 92 – es. stampa per modello TNT equivalente**

**S T A R**

Safety Techniques for Assessment of Risk

**Ipotesi esplosione**

Codice: 297 Sostanza: POLVERE NERA

Modello: Esplosioni/UVCE

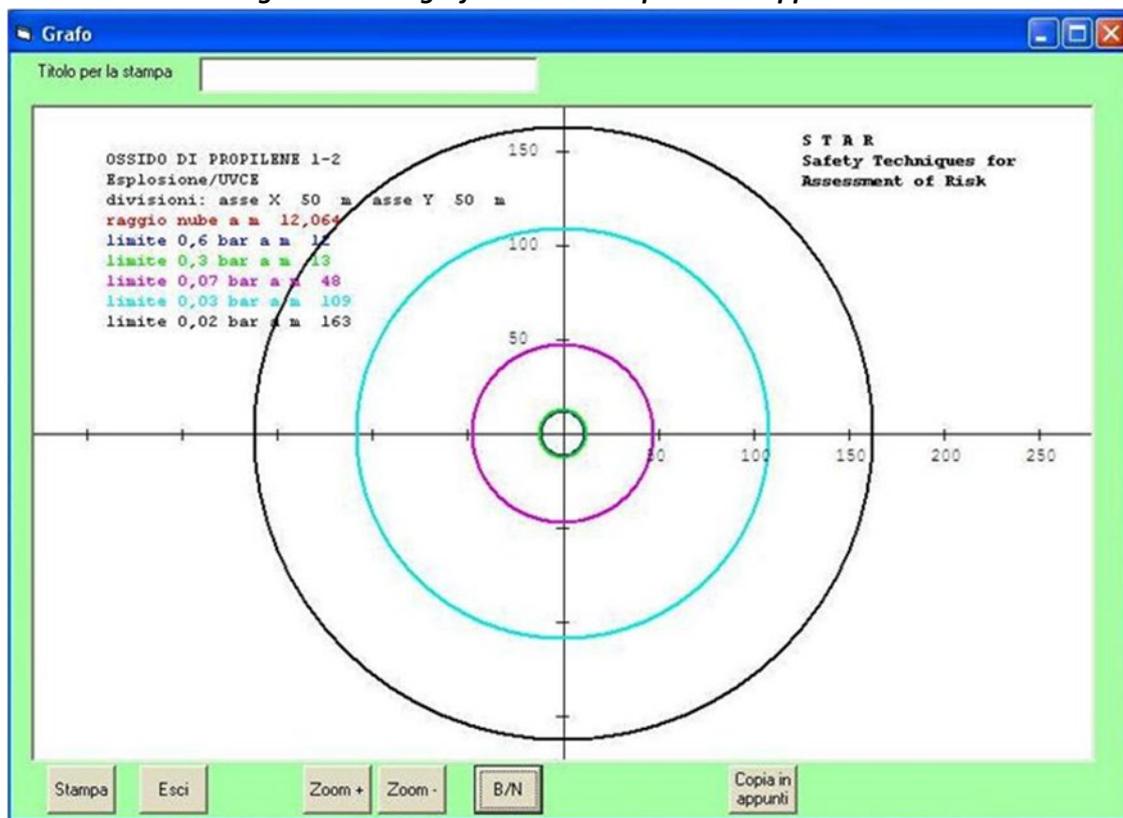
Data del calcolo: 04/09/2017

Fase o tipo di sostanza che fuoriesce	Polvere / Solido
Pressione di rilascio	bar (abs) 1
Temperatura della sostanza che fuoriesce	K 298
Temperatura ambiente	K 298
Tipo di esplosione	4 - TNT
Massa di combustibile nella nube	kg 1000

distanza m	parametro Z	Sovrappressione bar
5	6,301	30,910
6	7,561	21,219
7	8,822	15,439
8	10,082	11,721
9	11,342	9,193
10	12,602	7,397
20	25,205	1,770
30	37,807	0,767
40	50,409	0,448
50	62,012	0,315
60	73,614	0,236
70	85,216	0,185
80	100,818	0,142
90	112,421	0,122
100	126,023	0,106
110	138,625	0,094
120	151,228	0,084
130	162,830	0,076
140	176,432	0,069
150	189,035	0,063
160	201,637	0,058
170	214,239	0,054
180	226,841	0,050

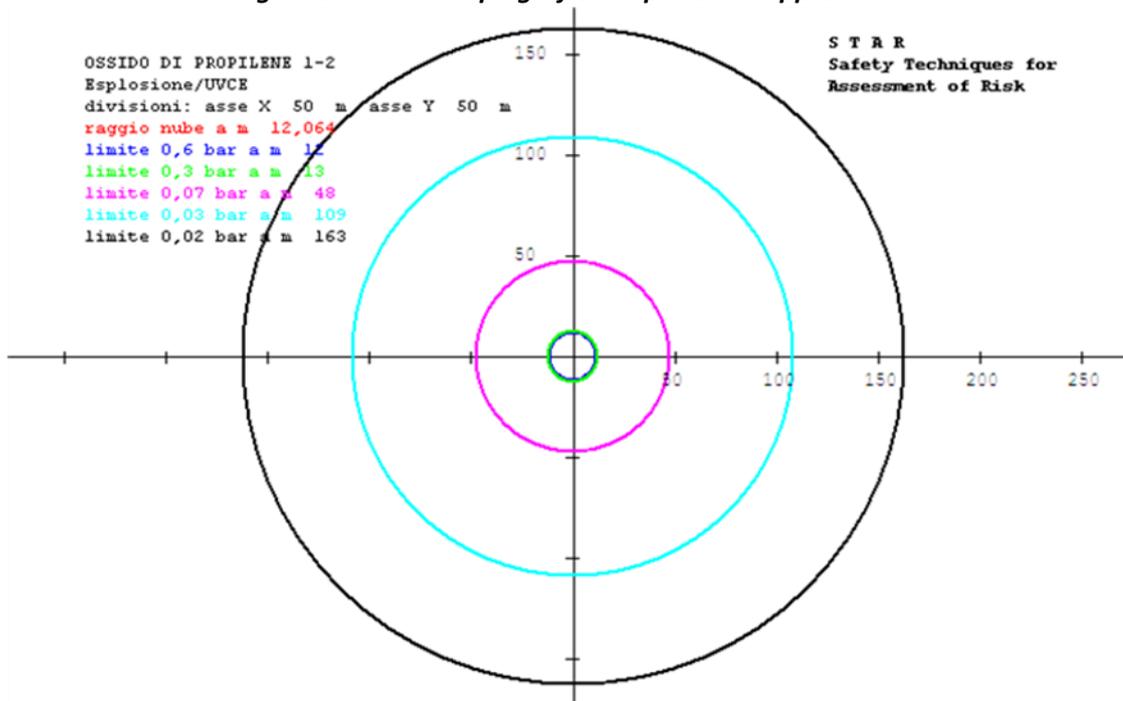
I grafici forniti per i modelli di esplosione o di irraggiamento rappresentano le aree interessate da energia (sovrappressione o irraggiamento) superiore alle soglie predefinite e riportate nei grafici stessi, come illustrato nelle figure seguenti.

**Figura 93 – es. grafico a video isoplete sovrappressione**



Nella figura seguente si riporta il risultato della stampa ottenuta cliccando su "Copia in appunti".

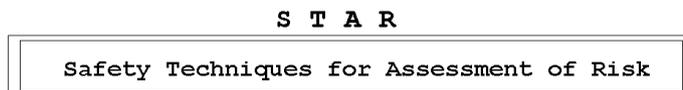
**Figura 94 – es. stampa grafico isoplete sovrappressione**



#### 4.7 PERCOLAMENTO LIQUIDI

I risultati dell'elaborazione sono presentati come illustrato nello stralcio della figura seguente.

**Figura 95 – es. risultati calcolo percolamento su terreno**



Codice: 346 Sostanza: IPOCLORITO DI SODIO SOL. 15%

Modello: Percolamento liquido nel suolo

Data del calcolo: 17/08/2020

Temperatura della sostanza che fuoriesce	K 293
Temperatura ambiente	K 293
Temperatura substrato dove avviene il rilascio	K 293
Velocità del vento	m/s 3
Tipo di terreno	franco argilloso (clay loam)
Densità del suolo	[kg/mc] 1560
Contenuto di limo e argilla	[fraz] 0,1
Carbonio organico nella sabbia	[fraz] 0,16
Carbonio organico in limo e argilla	[fraz] 0,64
Porosità	[fraz] 0,25
Contenuto d'acqua nel terreno	[fraz] 0,3
Concentrazione dell'inquinante	[kg/mc] 1100
Coefficiente degradazione nel suolo	[1/s] 0
Massa di liquido che fuoriesce	[kg] 1000
Area della pozza	[m²] 100
Sezione di percolamento	[m²] 0,2
Tensione di vapore del liquido	[Pa] 2100
Profondità di calcolo	[m] 5
Tempo di fine calcolo	[giorni] 0,25
Tempo di esaurimento pozza	[ore] 1,13
Massa evaporata (non percolata)	[kg] 896,70

profondità [m]	tempo [giorni]			
	0,06	0,13	0,19	0,25
	concentrazioni [kg/mc]			
0,20	1,1E+3	1,1E+3	1,1E+3	1,1E+3
0,40	1,1E+3	1,1E+3	1,1E+3	1,1E+3
0,60	1,1E+3	1,1E+3	1,1E+3	1,1E+3
0,80	2,9E+1	1,1E+3	1,1E+3	1,1E+3
1,00	4,7E-4	9,8E+1	1,1E+3	1,1E+3
1,20	0,0E+0	5,2E-2	3,7E+1	4,7E+2
1,40	0,0E+0	0,0E+0	3,0E-2	5,6E+0
1,60	0,0E+0	0,0E+0	1,0E-6	3,6E-3
1,80	0,0E+0	0,0E+0	0,0E+0	0,0E+0
2,00	0,0E+0	0,0E+0	0,0E+0	0,0E+0

Il tabulato è suddiviso in venticinque righe, ognuna legata alla profondità in m (segnata a sinistra), ed in quattro colonne che esprimono il tempo del calcolo in giorni (nell'esempio, partendo da una concentrazione 100%=1100 kg/m<sup>3</sup>, dopo 0,06 \* 24 = 1,44 ore a 1,2 m di profondità la concentrazione dell'inquinante è ancora zero, mentre dopo 0,25 = 6 ore alla stessa profondità la concentrazione = 470 kg/m<sup>3</sup>).

Profondità e tempo sono calcolati dal modello in funzione dei dati di input (profondità di calcolo e tempo di fine calcolo).

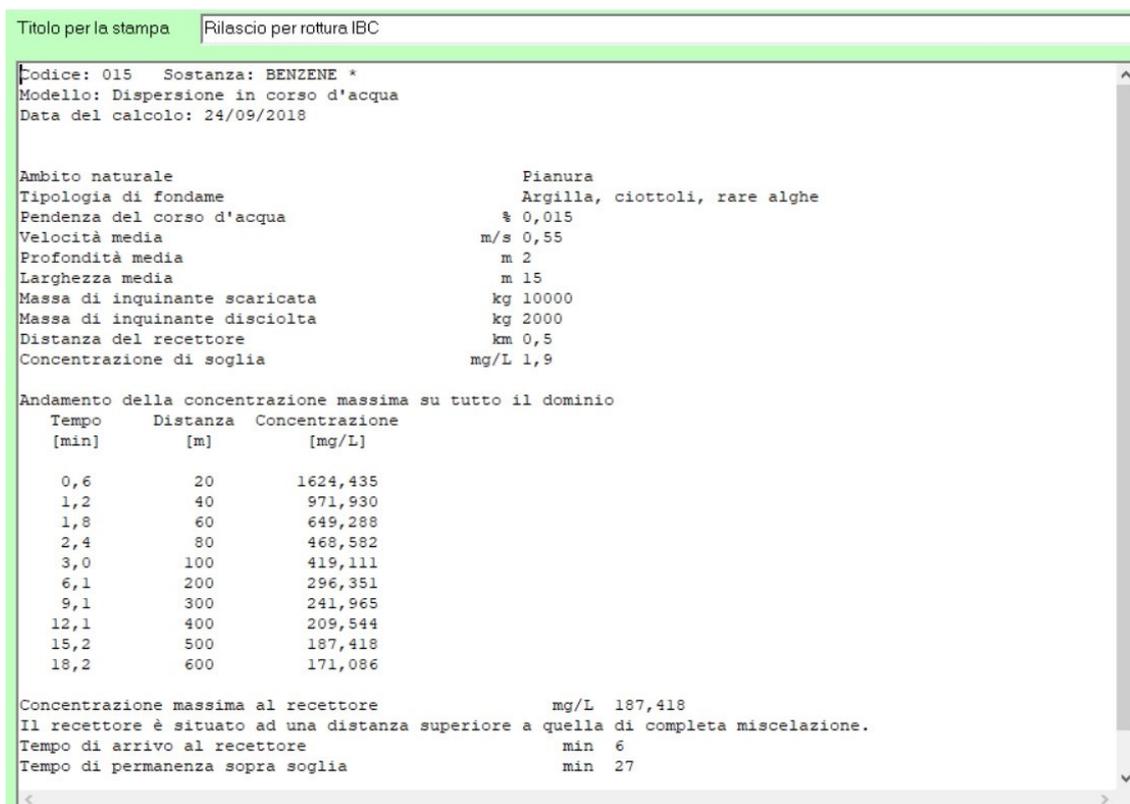
Per ogni livello di profondità viene fornita la concentrazione attesa dell'inquinante (in kg/m<sup>3</sup>) in funzione del tempo trascorso dallo sversamento. La concentrazione è riferita ad un punto situato sulla verticale del punto di sversamento.

Nel caso di sostanze non solubili (o poco solubili) in acqua, si può verificare una stagnazione del liquido sulla superficie, con minimo percolamento: il modello fornisce l'indicazione dello strato di terreno interessato e la concentrazione media dell'inquinante in questo strato, in modo da fornire indicazioni per l'eventuale bonifica. Per dati più precisi occorre applicare modelli più affinati cui conseguono anche conoscenze maggiori e più puntuali sulle caratteristiche del suolo.

#### 4.8 **DILUIZIONE / DISPERSIONE IN ACQUA**

Nel caso di liquidi solubili i risultati sono presentati come segue:

**Figura 96 - dispersione in acqua liquidi solubili**



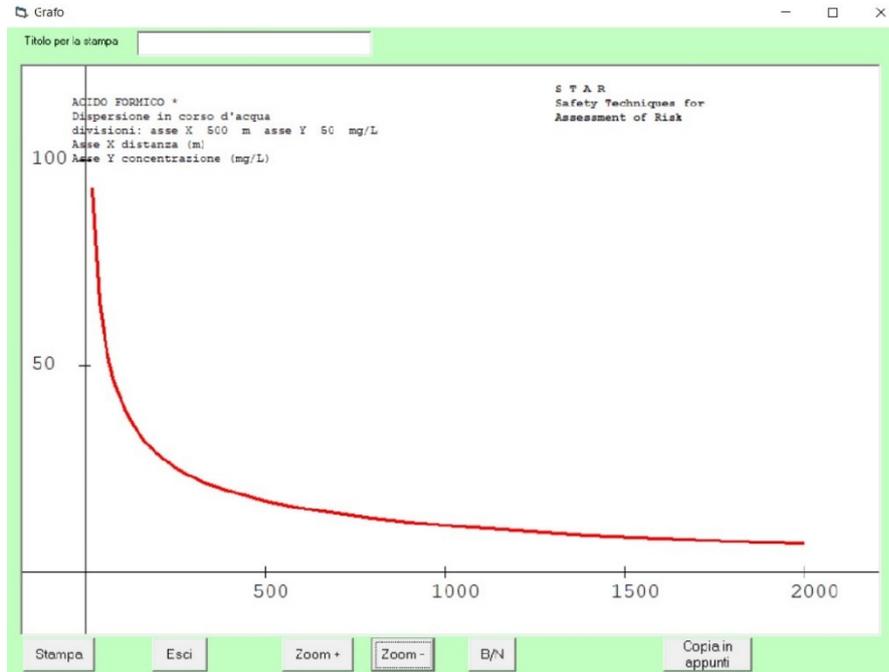
La distanza di completa miscelazione, che è calcolata con la relazione indicata in [114], indica il punto in cui l'inquinante sarà uniformemente distribuito su tutta la sezione del corso d'acqua; prima di questa distanza si potranno avere zone non omogenee con concentrazioni inferiori a quella indicata.

I dati di output si possono recuperare per eventuale utilizzo con programmi di editazione da files ASCII con l'estensione REM (xxxOUT.REM dove xxx è il codice della sostanza); per farlo, prima di terminare il calcolo e uscire o salvare i dati, è necessario aprire "esplora risorse" o "gestione risorse", posizionarsi sulla cartella C:/Winstar4 e copiare il file xxxOUT.REM cambiando nome su una cartella a Vs scelta (o su desktop) dalla quale si potrà poi utilizzare.

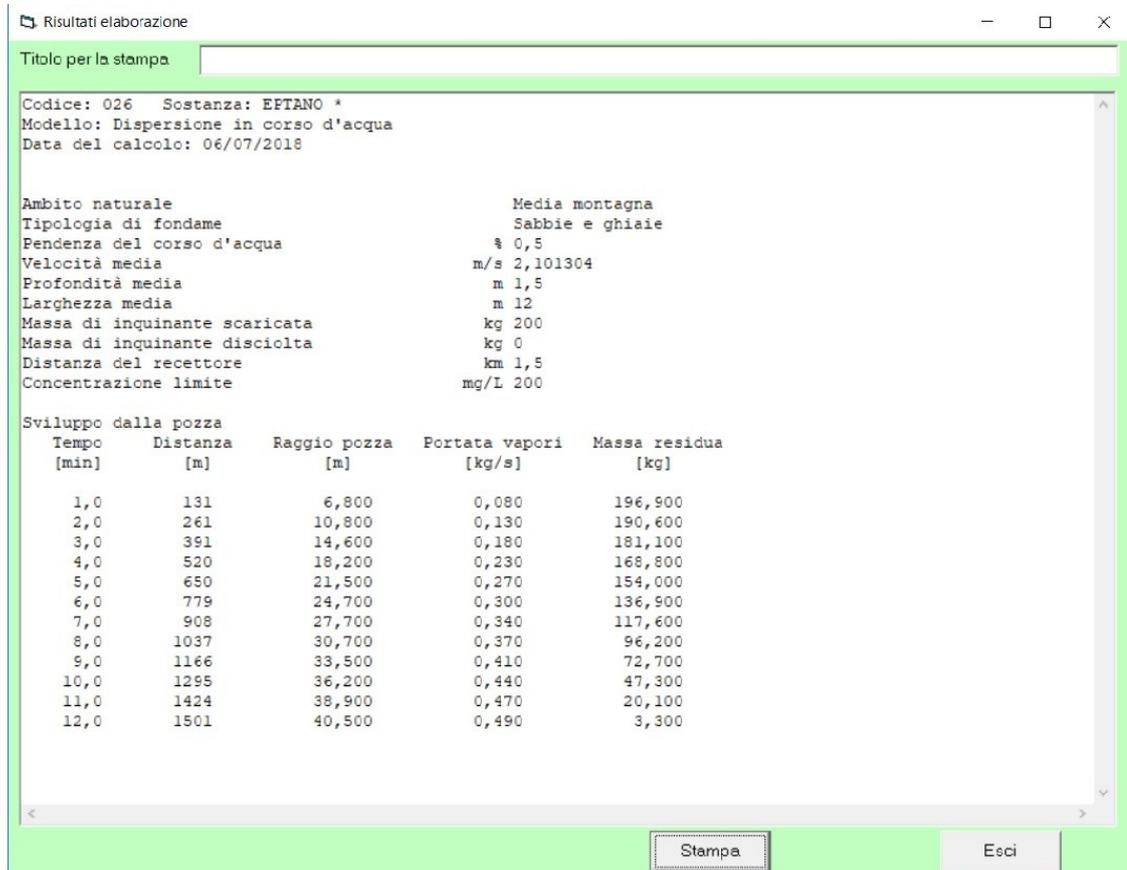
La concentrazione va comparata con le soglie di danno riferite alla sostanza (PNEC, ecc.).

Graficamente i risultati sono presentati come segue.

**Figura 97 - grafico dispersione in acqua**



**Figura 98 - dispersione in acqua liquidi insolubili**



#### 4.9 DIMENSIONAMENTO SFIATI

I risultati dei calcoli sono stampati o visualizzati come illustrato nelle figure riportate di seguito.

**Figura 99 – es. per verifica sistema esistente con runaway ibrida**

**S T A R**

**Safety Techniques for Assessment of Risk**

**TEST 5B**

Codice: 326    Sostanza: RELIEF (MIX REAZIONE)

Modello: Dimensionamento sfiati

Data del calcolo: 16/09/2012

```

Verifica sistema esistente
Reazione run-away ibrida
Il sistema genera schiume
Flusso turbolento
Pressione di set scarico da PSV/RD          bar 1,07
Temperatura di scarico                      K 381
Lunghezza linea sfiato                     m < 0,1
Volume del recipiente                      mc 1,67
Altezza del recipiente                     m 3,972
Diametro del recipiente                    m 3,184
Lunghezza tubazione di scarico             m 0,05
Fattore di frizione                        0,005
Grad. medio di innalzamento T             K/s 0,525
Pressione parziale del vapore              Pa 84000
Pressione parziale del gas                 Pa 84000
Gradiente di P in relazione a T           Pa 1800000
Tensione superficiale                     M/m 0,0158
Fattore di comprimibilità                  1
Volume libero nel recipiente               fraz. 0,5

Area dell'orifizio di sfiato              mq 0,00435
    
```

```

SCARICO BIFASE
Tempo per raggiungere la max sovrapp.    [s] 44,56
Frazione bifase alla max pressione        [-] 0,032
Sovrapressione                            [Pa] 92933,03
pari al 86,9 % della pressione di set
Sovratemperatura                          [K] 19,67
Portata di sfiato                          [kg/m2*s] 4346,19
    
```

**Figura 100 – esempio per verifica sistema esistente con runaway temperata**

**S T A R**

**Safety Techniques for Assessment of Risk**

**TEST 3B**

Codice: 351    Sostanza: RELIEF (TEST 2)

Modello: Dimensionamento sfiati

Data del calcolo: 05/10/2012

Verifica sistema esistente  
 Reazione run-away con volano termico  
 Il sistema non genera schiume  
 Flusso turbolento

Pressione di set scarico da PSV/RO	bar 3
Temperatura di scarico	K 352
Lunghezza linea sfiato	m >= 0,1
Volume del recipiente	mc 25
Altezza del recipiente	m 3,972
Diametro del recipiente	m 3,184
Lunghezza tubazione di scarico	m 5
Fattore di frizione	0,05
Grad. medio di innalzamento T	K/s 0,071
Tensione superficiale	N/m 0,0158
Fattore di comprimibilità	1
Volume libero nel recipiente	fraz. 0,5
Contropressione allo scarico	Pa 100000
Area dell'orifizio di sfiato	mq 0,0024

---

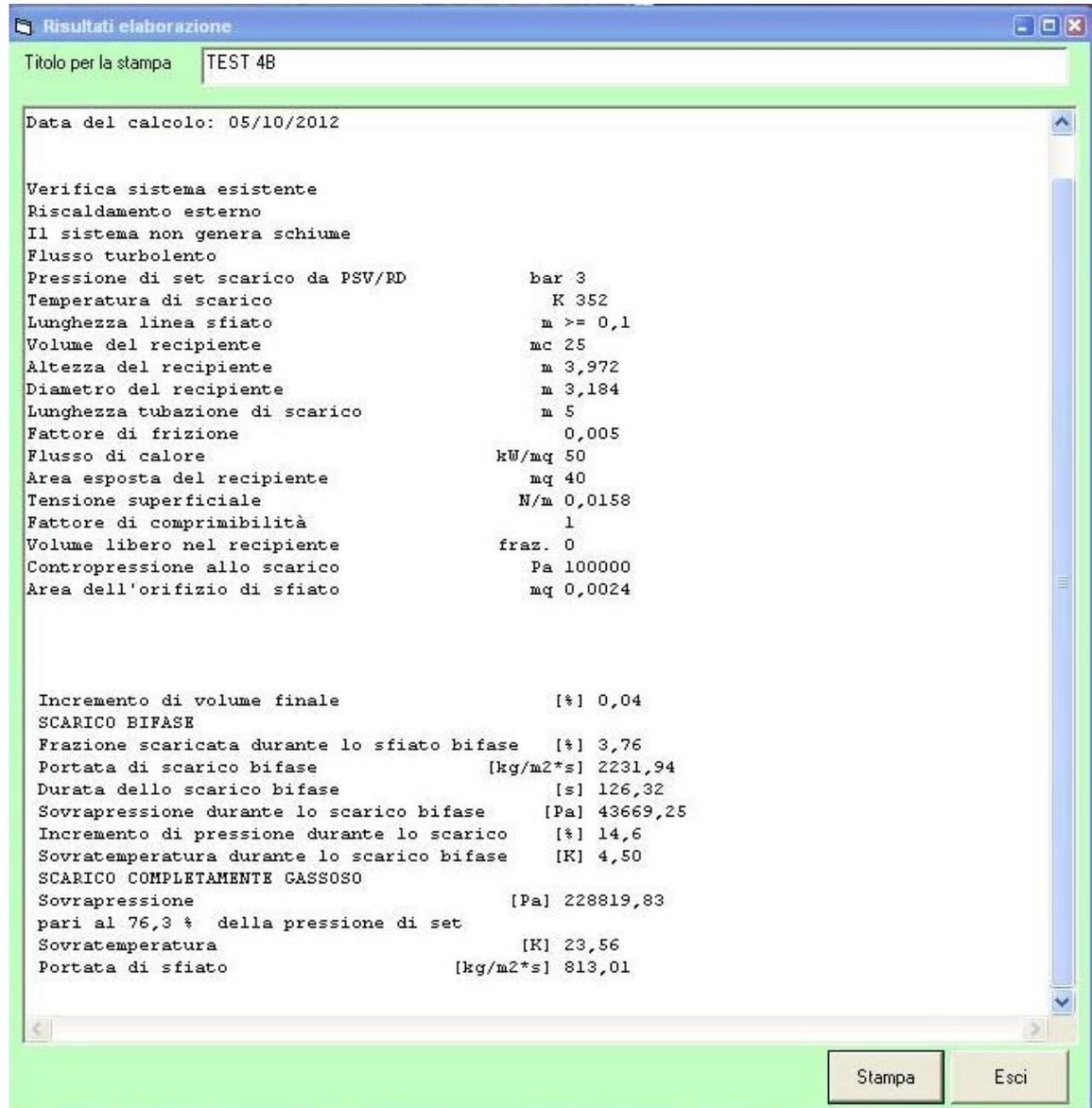
Incremento di volume finale	[%] 0,20
SCARICO COMPLETAMENTE GASSOSO	
Sovrapressione	[Pa] 227357,32
pari al 75,8 % della pressione di set	
Sovratemperatura	[K] 23,41
Portata di sfiato	[kg/m2*s] 810,87

**Figura 101 – esempio per progettazione nuovo sistema con runaway temperata**

S T A R	
Safety Techniques for Assessment of Risk	
<b>TEST 3A</b>	
Codice:	351
Sostanza:	RELIEF (TEST 2)
Modello:	Dimensionamento sfiati
Data del calcolo:	05/10/2012
Progettazione nuovo sistema Reazione run-away con volano termico Il sistema non genera schiume Flusso turbolento	
Pressione di set scarico da PSV/RD	bar 3
Temperatura di scarico	K 352
Lunghezza linea sfiato	m >= 0,1
Volume del recipiente	mc 25
Altezza del recipiente	m 3,972
Diametro del recipiente	m 3,184
Lunghezza tubazione di scarico	m 5
Fattore di frizione	0,05
Grad. medio di innalzamento T	K/s 0,071
Tensione superficiale	N/m 0,0158
Fattore di comprimibilità	1
Volume libero nel recipiente	fraz. 0,5
Contropressione allo scarico	Pa 100000
Massima sovrappressione ammessa	Pa 100000
Incremento di volume finale	[%] 0,20
SCARICO COMPLETAMENTE GASSOSO	
Sezione di scarico	[m <sup>2</sup> ] 0,0031
Diametro dello sfiato	[m] 0,0627
Portata di scarico	[kg/m <sup>2</sup> *s] 630,67

*Questo esempio è riferito a un sistema specifico: i risultati possono essere diversi se riferiti a sistemi differenti, comportando anche sfiato bifase per il quale sono forniti il diametro richiesto e la portata di efflusso.*

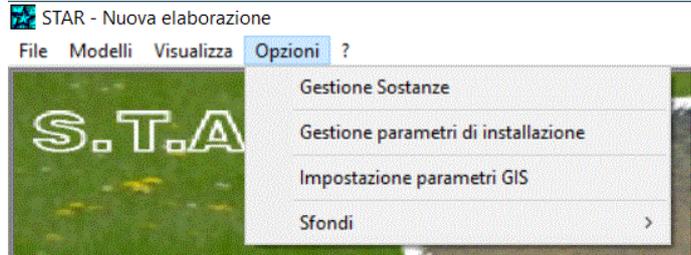
**Figura 102 – visualizzazione output per incendio esterno**



## 5. OPZIONI

Cliccando su questa voce del menu generale si apre la schermata seguente.

*Cliccando sulle varie opzioni si attivano le varie scelte descritte ne dettaglio di seguito.*

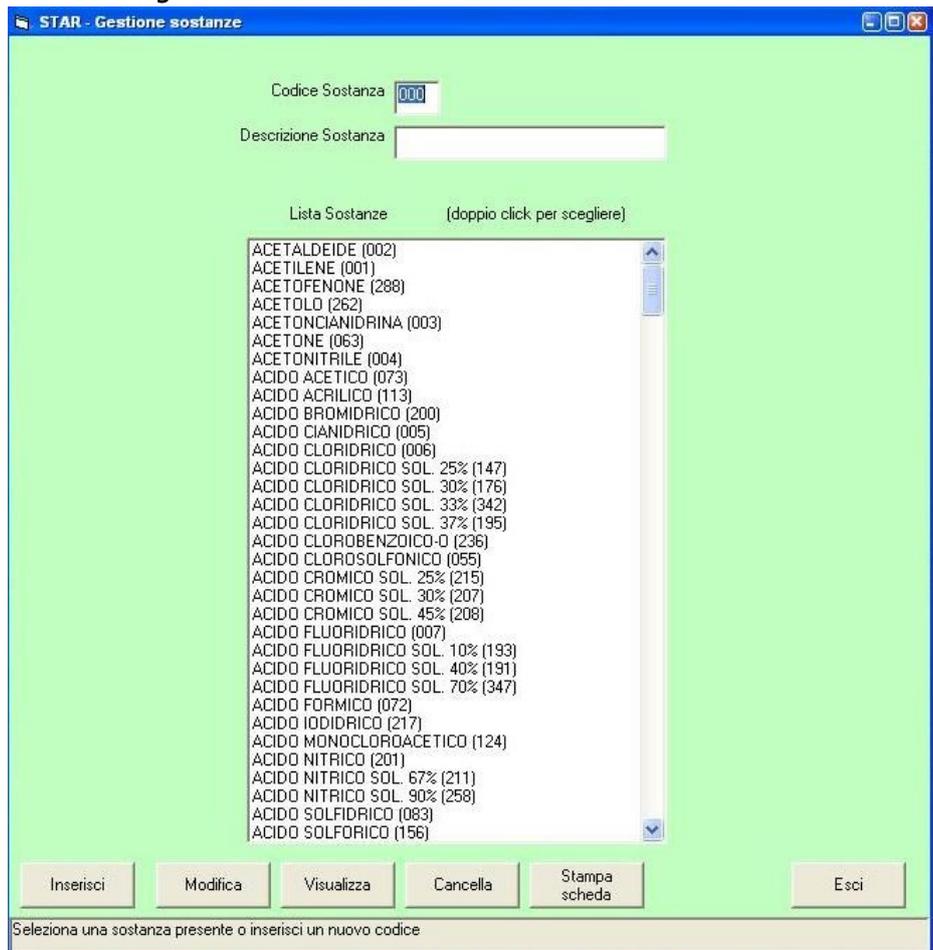


### 5.1 GESTIONE SOSTANZE

La visualizzazione dell'elenco delle sostanze presenti, e la scelta di quella di interesse per modificarne o visualizzarne i dati si esegue dalla seguente schermata.

**Figura 103 – es. elenco sostanze in banca dati S.T.A.R.**

*Si sconsiglia la modifica, in quanto molte comparazioni e validazioni sono basate su dati chimico-fisici forniti dagli autori degli altri modelli o delle sperimentazioni. Per scorrere l'elenco usare la barra a destra dell'elenco. Per selezionare la sostanza cliccare una volta sopra al nome, quindi usare le caselle in basso che permettono di effettuare la scelta desiderata.*



I dati sono riportati nella seguente figura che comprende le 2 schermate in cui si suddividono i parametri di ciascuna sostanza.

**Figura 104 – elenco parametri delle sostanze in banca dati S.T.A.R.**

STAR - Visualizzazione dati della sostanza - 004 ACETONITRILE \*

Peso molecolare	[g/mol]	41,053	Viscosità del liquido a 293K	[Pa*s]	0,000358
Densità del liquido a 293K	[kg/mc]	785	LFL	[% vol]	4,4
Densità dei vapori a 273K	[kg/mc]	1,83	UFL	[% vol]	16
Temperatura di ebollizione NBP	[K]	354,75	Fattore acentrico wSRK		0,3076
Temperatura critica Tc	[K]	545,5	Volume caratteristico HBT V*	[L/mol]	0,1606
Pressione critica Pc	[Pa]	4833200	Coefficiente VPA		40,774
Volume critico Vc	[cmc/mol]	173	Coefficiente VPB		5392,43
Calore di vaporizzazione a 293K	[J/kg]	810830	Coefficiente VPC		-4,357
Calore di combustione	[J/kg]	2,899666E+07	Coefficiente VPD		2615
Calore specifico liquido a 293K	[J/kg*K]	2218	Numero equazione PV		2
Calore specifico gas a 293K	[J/kg*K]	1257,8	Coefficiente ka		0,0915565
Rapporto Cp/Cv a 293K		1,1919	Coefficiente kb		9,63706E-03
Diffusività vapori	[m²/s]	0,0000111			

STAR - Visualizzazione dati della sostanza - 004 ACETONITRILE \*

Coefficiente kc		9,26483E-04	Conduttività termica cemento	[W/m*K]	0,92
Coefficiente kd		-1,35818E-05	Diffusività termica ghiaia	[m²/s]	0,0000011
Coefficiente ke (emissività TNO)		0,34	Stato fisico		2
Temperatura adiabatica di fiamma	[K]	2086	EEI1	[ppm]	50
Parametro di polarità		3	EEI2	[ppm]	500
Rapporto stechiometrico di ossidazione		0,056	EEI3	[ppm]	9456
Solubilità	[g/100 g acqua]	15600	Coefficiente a (Probit)		-16,71
Log Kow (o Log Pow)		-0,34	Coefficiente b (Probit)		1
Costante legge di Henry	[Pa*mc/mol]	1,55	Coefficiente n (Probit)		2
Tensione superficiale	[mN/m]	29,3	Formula		0
PNEC (acqua dolce)	[mg/L]	10	Numero CAS		75
Viscosità dinamica dei vapori	[Pa*s]	7,02E-06			0
Diffusività termica cemento	[m²/s]	4,16E-07			

<< Pagina Esci

visualizza i dati relativi alla sostanza

Rispetto alle versioni precedenti alla 4.6.0 sono variati i parametri seguenti.

**Tabella 6**

versioni ante 4.6.0	versioni post 4.6.0	usato nel modello
coefficiente di efflusso	log Kow	dispersione in H2O e Percola
densità terreno	costante di Henry	dispersione in H2O e Percola
calore specifico terreno	tensione superficiale	Percola
frazione argilla nel terreno	PNEC	Percola
fraz. umidità nel terreno	viscosità assoluta vapori	Percola

Per alcune sostanze i dati relativi ai nuovi parametri (per es. PNEC, tensione superficiale, ecc.) mancano in quanto non reperibili nella letteratura tecnica pubblica o non pertinenti in quanto non applicabili. Nel caso l'utente reperisca o stimi tali dati occorre inserirli nel file utilizzando l'opzione "modifica"

Il procedimento per inserire nuove sostanze e relativi dati è stato concepito appositamente in maniera da richiedere una certa attenzione nell'operazione, allo scopo di evitare modifiche che possono inficiare i risultati dei calcoli o bloccare l'elaborazione. Occorre anzitutto conoscere il codice numerico dell'ultima sostanza inserita, in modo da inserire il numero successivo per quella che si intende inserire. Le sostanze sono infatti visualizzate in elenco alfabetico, ma sono anche associate ad un codice numerico di tre cifre.

Per vedere l'elenco in funzione dei codici numerici è necessario aprire il file "TAB.DAT" presente nella directory C:\Winstar 4\filesPRO (si può usare un editor di testo, come blocco note); il file è un elenco delle sostanze di cui sono presenti i dati in ordine numerico.

Una volta noto il numero dell'ultima sostanza si inserisce il successivo nella casella "Codice sostanza" della schermata di Figura 103, quindi il nome della sostanza nella casella "Descrizione sostanza", si clicca sulla casella per  aprire la prima delle due schermate di inserimento delle variabili riportate nella Figura 104.

L'inserimento può essere fatto anche con editor di testo, aggiungendo il codice ed il nome nel file "TAB.DAT" e costruendo il file delle variabili che è individuato dal codice numerico.PRO

## 5.2 IMPOSTAZIONE PARAMETRI GIS

Permette di impostare la griglia di calcolo delle concentrazioni per i modelli di dispersione allo scopo di ottenere poi grafici visualizzabili su sistemi georeferenziati. La schermata nella quale inserire i dati è la seguente.

*I valori inseriti definiscono la griglia di calcolo: per esempio con i valori visualizzati i modelli di dispersione forniranno la concentrazione attesa in tutti i punti situati a intervalli di 25 m entro la distanza corrispondente alla soglia di concentrazione inserita e per una dimensione laterale rispetto al center line di 4000 m.*

**Figura 105 – dati impostazioni GIS**



Modifica parametri GIS

Dimensione del lato griglia GIS [m] 25

Massima distanza lungo asse Y [m] 4000

Applica Chiudi

### 5.3 SFONDI

È un'opzione che consente di personalizzare lo sfondo del programma. Può essere utilizzata per scegliere altri sfondi, anche diversi da quelli inseriti, purché dello stesso formato (jpg) che l'utente deve copiare nella directory C:\Winstar\GraficaSfondo.

## 6. CALCOLO AUTOMATICO

Questa opzione NON può essere utilizzata per i seguenti scenari che richiedono l'inserimenti di variabili specifiche e scelte particolari non automatizzabili:

- esplosione recipienti;
- irraggiamento da fire ball e/o da tank fire e/o da artifici pirotecnici;
- ricaduta di gas o polveri da camini o di nebbie da torri di raffreddamento;
- percolamento di liquidi nel terreno;
- dispersione in acqua;
- verifica dell'efficienza di cortine d'acqua;
- dimensionamento sfiati o scarichi di sicurezza per reattori e serbatoi.

L'opzione prevede il concatenamento automatico dei modelli, a partire dal calcolo della portata fino alla valutazione degli effetti finali. Vanno pertanto inseriti tutti gli INPUT all'inizio della procedura, selezionando l'opzione "calcolo automatico", come illustrato sotto.

**Figura 106 – scelta calcolo automatico**

Verrà attivata la casella "Altri dati >>>" posta in basso a destra, come illustrato nella figura a fianco.

Inserire i dati delle variabili nelle apposite caselle, quindi cliccare su questa casella.

Sarà visualizzata una finestra che richiede la conferma dei dati, come illustrato sotto.

Cliccando sulla casella "Sì" sono confermati i dati, sulla casella "No" si lasciano i dati esistenti e si passa al Menù successivo, su "Annulla" si rimane sullo stesso Menù.

Dopo aver confermato i dati verranno visualizzate le seguenti schermate.

**Figura 107 – input per calcolo automatico (portata efflusso)**

In ciascuna di tali schermate saranno visualizzate solo le caselle che richiedono i dati necessari al calcolo.

Rispetto all'opzione di "calcolo manuale" sono richieste meno variabili perché molti dati vengono calcolati e inseriti automaticamente.

Ad esempio, la portata di efflusso calcolata non viene richiesta perché calcolata.

**Figura 108 – input calcolo automatico (evaporazione)**

Per ogni schermata, dopo aver inserito tutte le variabili richieste, occorre cliccare sulla casella "Altri dati >>>" e confermare successivamente l'inserimento.

Per tornare alla schermata precedente cliccare su "<<<Altri dati".

Per l'irraggiamento sono richieste solo l'umidità relativa dell'atmosfera e l'irraggiamento solare (la frazione di inquinante presente nei fumi sviluppati da un incendio è facoltativa).

**Figura 109 – input calcolo automatico (dispersione)**

Per la dispersione sono utilizzate solo le variabili visualizzate a fianco. Le variazioni di rugosità e la presenza di fabbricati possono essere inserite, ma se ne terrà conto solo in alcuni modelli.

Per l'eventualità di simulazione di una esplosione della nube di vapori sarà richiesta la sola velocità di fiamma (gli altri parametri – quantità di combustibile, dimensioni nube sono forniti automaticamente dai calcoli eseguiti in precedenza).

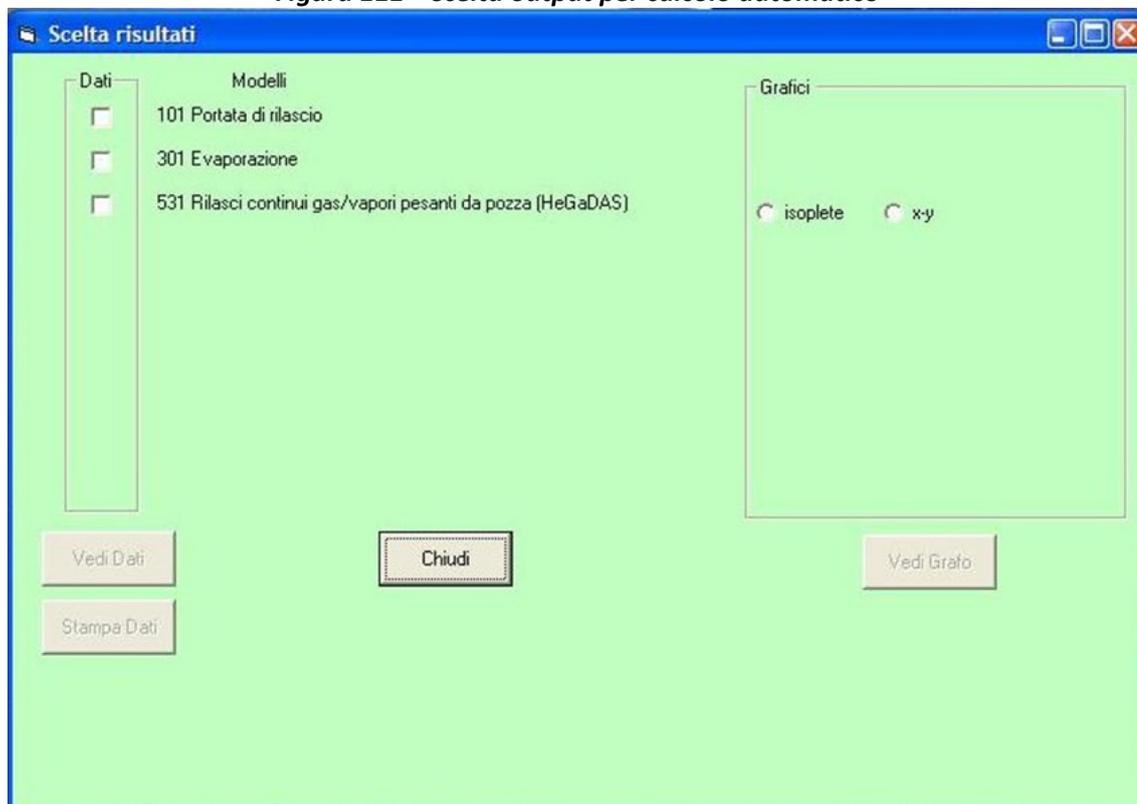
**Figura 110 - input calcolo automatico (uvce)**

A questo punto la casella "Altri dati>>>" viene disattivata, per cui si può solo tornare indietro o eseguire il calcolo.

Per l'esecuzione occorre cliccare sulla casella "Applica" e poi sulla casella "Esegui".

Una volta effettuato il calcolo verrà visualizzata una schermata come la seguente con indicati i modelli applicati e le opzioni per la stampa o per la visualizzazione.

**Figura 111 – scelta output per calcolo automatico**



*La scelta viene fatta cliccando sulle caselle in modo da inserire una spunta sull'opzione desiderata. Per la stampa dei tabulati si possono spuntare tutti i modelli (verranno stampati tutti i tabulati uno di seguito all'altro).*

*Per i grafici è possibile visualizzare ed eventualmente stampare un elaborato alla volta.*

## 7. BIBLIOGRAFIA

- [1] "Methods for the Calculation of the Physical Effects of the Escape of Dangerous Material" Report of the Committee for the Prevention of Disasters Published by the Directorate General of Labour Ministry of Social Affairs - Olanda (Yellow Book - 1<sup>st</sup> ed. 1979, 2<sup>nd</sup> ed. 1988).
- [2] "Risk Analysis of Six Potentially Hazardous Industrial Objects in the Rijnmond Area, A Pilot Study". Report to Public Authority - D. Reidel Editor (1982) (Rapporto Rijnmond).
- [3] "Discharge Rate Calculation for Use in Plant Safety Assessment" SRD R352 - UKAEA (1986).
- [4] "Source Term Considerations in Connection with Chemical Accident and Vapor Cloud Modeling" - Fauske & Epstein - Internat. Conf. on Vapor Cloud Modeling - Boston (2-4/11/1987).
- [5] "Evaporation from Liquid Spills of Hazardous Liquids on Land and Water" - SRD R100 - UKAEA (1978).
- [6] "A users manual to Spill" - SRD R210 - 1981
- [7] "Thermal Radiation Hazard Ranges from Large Hydrocarbon Pool Fires" - M. Considine - SRD R297 - UKAEA (1984).
- [8] "Atmospheric transmissivity - the effect of atmospheric attenuation on thermal radiation" SRD R304 - 1984
- [9] Fire Technology - V. Babrauskas (11/1983).
- [10] "Thermal Radiation Hazards from Release of LPG from Pressurised Storage" - A.F. Roberts - Fire Safety Journal, 4 (1981/82).
- [11] Hasegawa & Sato - Citato in "Abnormal Release of Hazardous Materials" I<sup>o</sup> Convegno CISACH - Giornate della Chimica - Milano (21-22/4/1983).
- [12] "Il convogliamento degli scarichi di emergenza" - L. Verde, S. Moreno - F. Angeli Ed.
- [13] "Predicting Radiant Heating from Flares" - T.A. Brzustowsky API Preprint n° 64 (1973).
- [14] "Practical Design of Flare Stacks" - A.R. KENT - Hydrocarbon Processing (8/1964).
- [15] "Dispersion of Gases Vented to Atmosphere from Relief Valves" - A.L. Cude - Chemical Engineering (10/1974).
- [16] "A New Method for the Calculation of the Plume Path of Gases Emitted by a Stack" G. Ooms (1972).
- [17] "The Plume Path of Vent Gases Heavier than Air" - G. Ooms, A.P. Mathieu, F. Zelis - Loss Prevention and Safety Promotion - Elsevier Ed. (1974).
- [18] "Atmospheric Dispersion of Heavy Gases Emitted at or near Ground Level" - P.H.M. Te Riele - Loss Prevention and Safety Promotion in the Process Industries (Heidelberg sept. 1977) EFCE pubbl. Series n. 1. VI - 347.

- [19] "Release and Dispersion of Flammable and Toxic Gases" modello Gasout - Battelle Institute Frankfurt am Main (1982/83).
- [20] "A Theory of Dispersion in Turbulent Shear Flow" - C.H. Huang - Atmospheric Environment vol. 13 (1979).
- [21] "Transport and Diffusion of Stack Effluents" - G.H. Strom - Air Pollution Vol. 1 - A.C. Stern Editor.
- [22] "DENZ - A Computer Code for the Calculation of the Dispersion of Dense Toxic or Explosive Gases in the Atmosphere" - SRD R152 - UKAEA (1979).
- [23] "CRUNCH - A Dispersion Model for Continuous Release of a Denser than Air Vapour into the Atmosphere" - SRD R229 - UKAEA (1983).
- [24] "Interpretation of the Thorney Island Phase I Trials with the Box Model CIGALE2" - Cabrol, Roux, Lhomme - Journal of Hazardous Materials n° 16 (1987).
- [25] "The Application of the Computer Code DENZ" - SRD R277 - UKAEA (1985).
- [26] "HEGADAS: Heavy Gas Dispersion Program" – User's guide – Aug. 1988 – US EPA PB89-164560)
- [27] "A Mathematical Model for the Transient Behaviour of Dense Vapor Cloud" - G.W. Colenbrander - Loss Prevention Symposium - Basle (9/1980).
- [28] Degadis 2.1 (Dense gas dispersion) 1992 – US EPA e G.R.I. (1990) ( NTIS-35)
- [29] "Modeling the Phase Thorney Island Experiments" - T.O. Spicer, J.A. Havens - Journal of Hazardous Materials n° 11 (1985).
- [30] "Comparison between data from the Thorney Island heavy gas trials and prediction of simple dispersion models" – SRD R355 –1986
- [31] "Fog formation of hydrogen fluoride in air" – W.Shotte – Industrial Engin. Chemical Research 1987, 26
- [32] "Vapour Cloud Explosion Model" - B.J. Wiekema (Prins Maurits Laboratory TNO) - Journal of Hazardous Materials (1980).
- [33] "Initiation of Spherical Detonation in Hydrocarbon/Air Mixtures" - D.C. Bull, J.E. Elsworth, G. Hooper - International Colloquium on Gas Dynamics of Explosion and Reactive System - Stoccolma (1977).
- [34] "Experimental Investigation into the Blast Effect Produced by Unconfined Vapour Cloud Explosion" - J.P. Zeeuwen, C.J.M. Van Wingerden, R.M. Dauwe (Prins Maurits Laboratory TNO) - AA Rijswijk - Olanda.
- [35] "A Short Course on Explosion Hazards" - Baker, Cox, Kulesz, Strehlow, Westine (SouthWest Research Institute) - San Antonio - Houston, Texas (1978).

- [36] "Analysis of the Potential Explosion Effects of Flammable Gases During Short Time Release into the Atmosphere" - Giesbrecht, Hess, Leuckel, Stoeckel - BASF Aktiengesellschaft, Ludwigshafen - Heavy Gas and Risk Assessment S. Hartwig Ed. - D. Reidel Publishing Co. - Dordrecht - Olanda (1979).
- [37] "Influence of Dispersion Behaviour of Dense Gases on the Possible Strength of Explosion" - W. Geiger, R. Synofzik (Battelle Institute) - Heavy Gas and Risk Assessment - S. Hartwig Ed.
- [38] "Cloud Experimental Analysis of Unconfined Explosion of Air/Hydrocarbon Mixtures - Characterisation of the Pressure Field" - Brossard, Leyer, Desbordes, Garnier, Saint, Hendrickx, Lannoy, Perrot - 4th International Symposium on Loss Prevention and Safety Promotion - Harrogate - Ed. EFCE Symposium Series n° 33 (1983).
- [39] "Metodi probabilistici e deterministici per la valutazione del rischio industriale applicati alla previsione degli effetti di UVCE" - A. Lannoy - Electricité De France - Direction des Etudes et Recherches - Poitiers (5/1983).
- [40] "Review of Specific Calculation Methods for the Rijnmond Safety Study" - Battelle Institute (1980).
- [41] Industrial Explosion - Prevention and Protection - McGraw Hill Book Co.- New York.
- [42] "Know Your Insurer's Expectations" - R.W. Nelson - Hydrocarbon Processing (8/1977).
- [43] "The Effects of Explosions" - V.J. Clancey - Institution of Chem. Eng. Symposium Series n° 71.
- [44] Bergmann, J.P. Riegel - Plant Operation Progress Vol. 2, n° 2 (4/1983) - SouthWest Research Institute - San Antonio - Houston, Texas.
- [45] "Vapour Cloud Explosion - An Analysis Based on Accidents" - B.J. Wiekema - Journal of Hazardous Materials n° 8 (1984).
- [46] "The Properties of Gases and Liquids" - Reid, Prausnitz, Poling - McGraw Hill - IV Ed.
- [47] "Predict Saturation Temperature as a Function of Vapor Pressure" - M.P. Wagle (Shell) - Chemical Engineering (6/1986).
- [48] Enciclopedia des Gaz - Elsevier, L'Air Liquide (1976).
- [49] "Loss Prevention in the Process Industries" - F.P. Lees – 2<sup>a</sup> ediz. 1996 – 3<sup>a</sup> ediz. 2005
- [50] "Guidelines for Use of Vapor Cloud Dispersion Models" - S.R. Hanna, P.J. Drivas - AIChE – CCPS (1<sup>st</sup> ed. 1987 e 2<sup>nd</sup> ed. 1996).
- [51] "Guidelines for Evaluating the Characteristics of Vapor Cloud Explosions, Flash Fires and BLEVEs" – AIChE / Center for Chemical Process Safety (1994).
- [52] "Fundamentals of Fire and Explosion" AIChE - n° 10 Vol. 73 (1977).
- [53] "Workbook for Predicting Pressure Wave and Fragment Effects of Exploding Propellant Tanks and Gas Storage Vessels" - NASA - Report 134906.

- [54] "Workbook for Estimating Effects of Accidental Explosions in Propellant Ground Handling and Transport System" - NASA - Report 3023.
- [55] Manuale dell'ingegnere civile e industriale – Colombo - 80<sup>a</sup> Ed. (1980).
- [56] INRS – Fiches Toxicologique - Cahiers de Note Documentaires.
- [57] SAX - Dangerous Properties of Industrial Materials (1989 - 1993).
- [58] "Threshold Limit Values for Chemical Substances in the Work Environment" ACGIH.
- [59] Chemical Engineers' Handbook - Perry, Chilton, Green - McGraw Hill - Fifth & Sixth Ed.
- [60] "RAMIC - Un metodo per valutare a medie e grandi distanze l'impatto ambientale di rilasci aeriformi" - A. Bottino, P. Cagnetti, P. Ferrara (ENEA).
- [61] "Concentration fluctuations and averaging time in vapor clouds" – AIChE – CCPS (1995)
- [62] "Analysis of the LPG incident in San Juan Ixhuatepec, Mexico City" 19/11/1984 – TNO Div. of technology for society –1985
- [63] "Workbook of Test Cases for Vapor Cloud Source Dispersion Models" - Center for Chemical Process Safety - AIChE – CCPS (1989).
- [64] "An evaluation of SLAB and DEGADIS heavy gas dispersion models ..." - International Conference on Vapor Cloud ... - Boston 1987.
- [65] "A Guidance Manual for Modeling Hypothetical Accidental Release to the atmosphere" – API 4628 Health and Environmental Sciences Dept. 1996.
- [66] "Uncertainties in hazardous gas model prediction" - International Conference & Workshop on modeling - New Orleans 1991
- [67] "Evaluation of fourteen hazardous gas models with ammonia and HF field data" - J. of Haz. Materials 26(1991)
- [68] HGSYSTEM 3.0 API Publ. 4636 - 1995
- [69] "Un modello matematico non gaussiano per il calcolo delle ricadute al suolo di emissioni da sorgenti stazionarie" (FISBAT-CNR e Regione Emilia Romagna - 1986)
- [70] "Recommended guide for the prediction of the dispersion of airborne effluent" ASME - 1979
- [71] "Guideline on Air Quality Models" - US Environmental Protection Agency – rev. 1996.
- [72] "Modeling the Release and Dispersion of Toxic Combustion Products from Chemical Fires" - Mills - International Conference on Vapor Cloud Modeling - Boston (2–4/11/1987).
- [73] "Valutazione della portata di fumi prodotti da incendi di tipo confinato" – D.M. De Faveri – Università di Venezia – Dip. Chimica Fisica 1992
- [74] "Fire in industrial building" – Pagella & De Faveri – IChemE Vol. 71, part B. Aug. 93
- [75] "Toxic product from fires" – Hartzell, Packam, Switzer – American Ind. Hyg. Assoc. (44) april 1983

- [76] "Dispersion of toxic combustion products from large fires" - D.A. Carter – Risk Analysis, SRA – Vol. 11 n° 3 1991
- [77] "Manuale programma "cortina" per la progettazione di cortine d'acqua" – Tecnimont – Nov. 1989
- [78] Workshop on water curtain – von Karman Institute – Bruxelles 1987
- [79] "Mixing of gas clouds by water barriers" – De Faveri, Pastorino, Fumarola, Ferraiolo – Journal of Occup. Accidents, 5 (1984)
- [80] "Mitigation of Vapor Cloud Hazards" – R.W. Prugh – Plant/Operation Progress vol. 5 n°3 July 1986
- [81] "Effectiveness of water spray mitigation systems for accidental release of hydrogen fluoride" – US Dept. of Energy EGG-10617-1035 (1989)
- [82] International Conference and Workshop on Modeling and Mitigating the Consequences of Accidental Releases of Hazardous Materials – AIChE – New Orleans 1995
- [83] "Procedures for checking and designing emergency relief systems" – Banerjee Univ. of California – Tecnimont 1989
- [84] "A program for calculating two phase discharge rate through segment relief piping" – Lam & Banerjee – Tecnimont 1989
- [85] "Small/Large scale experimental data and analysis" – vol. 1-4 - DIERS & AIChE – 1986
- [86] "Emergency Relief System Design Using DIERS Technology" The Design Institute for Emergency Relief Systems (DIERS) Project Manual – ISBN 0-8169-0568-1 - AIChE 1992
- [87] API RP 521 – "Guide for Pressure-Relieving and Depressuring Systems" – 1997
- [88] "Workbook of atmospheric dispersion estimates" – D.B. Turner – NTIS – USA 1970
- [89] Hydrocarbon Processing - Physical Properties of Hydrocarbons Data Sheet
- [90] Chemical Engineering - Physical and Thermodynamical Properties Data Sheet.
- [91] "Numerical simulation of the Mitigation of HF Cloud Concentrations by means of Vapor Barriers and Water Spray Curtains" International Conference and Workshop on Modeling and Mitigating the Consequences of Accidental Releases of Hazardous Materials - New Orleans 1991.
- [92] "Mitigation of hydrofluoric acid releases: simulation of the performance of water spraying systems" - Journal Loss Prev. Process Industry 1993, vol.6, n°4.
- [93] "Effectiveness of Water Spray on Mitigating Anhydrous Hydrofluoric Acid Releases" - International Conference on Vapor Cloud Modeling - Boston 1987.
- [94] "The Mixing of Anhydrous Hydrogen Fluoride with Moist Air" - International Conference on Vapor Cloud Modeling - Boston 1987.
- [95] "Forced dispersion of gases by water and steam. The confinement and dispersion of gases by water sprays" -Institution of Chemical Engineers - Northwestern branch (1981).

- [96] A.Liberti (Università La Sapienza) e G.L.Valenti (Università di Napoli) D.A. 3/1990 (ricadute di nebbie da torri di raffreddamento).
- [97] CPR 16E "Methods for determination of possible damages to people and objects resulting from releases of a hazardous materials" – TNO – ISBN90-5307-052-4
- [98] "Incorporations of the effects of buildings and obstructions on gas cloud consequence analysis" - D.M. Deaves - International Conference on Vapor Cloud Modeling - Boston 1987
- [99] "Basic programs for chemical engineers" – Dennis Wright – Van Nostrand Reinhold – 1986
- [100] "Meccanica dei fluidi e idraulica" - R.V.Giles – collana SCHAUM vol 24
- [101] "Behavior of LPG on water" R.C.Reid – K.A.Smith (MIT) – Fire protection manual for hydrocarbon processing plant – vol. 2 – Vervalin Ed. 1981
- [102] "Risk Management Program Guidance for Offsite Consequence Analysis" EPA 550-B-99-099 (1999).
- [103] "Large LNG Fire Thermal Radiation – Modeling Issues & Hazard Criteria Revisited" Phani K. Raj (Presented at the AIChE Spring Meeting, April 10-14, 2005, Session LNG VI – Risk & Safety).
- [104] "Calculating Impacts for Large Open Hydrocarbon Fires" P.A. Croce & K.S. Mudan – Fire Safety Journal, 11 (1986) 99-112
- [105] "Guideline for Consequence Analysis of Chemical Releases" – AIChE – CCPS 1999
- [106] "Heat Radiation from Flares" - Science and Technology Branch - Environmental Sciences Division University of Alberta (CND) May 2000
- [107] "Recommendations on the TRANSPORT OF DANGEROUS GOODS Model Regulations" Manual of Tests and Criteria – Fourth revised edition – UNITED NATIONS - New York and Geneva, 2003 – punti 16.6.1.4.4 e 5.
- [108] "Quantification and control of the hazard associated with the transport and bulk storage of fireworks – CHAF" – Work Package 9 - European Commission – project
- [109] "DoD ammunition and explosives safety standards" Dipartimento della difesa USA (ottobre 2004)
- [110] CPR 14E "Methods for the calculation of physical effects ..." (TNO yellow book) – ed. 2005.
- [111] "Water quality assessment: a screening procedure for toxic and conventional pollutants in surface and ground" EPA (1985)
- [112] Filmato su rilascio NH<sub>3</sub> a Seward – USA 2007
- [113] "Release of anhydrous ammonia from pressurized containers – the importance of denser-than-air mixtures" – G.D.Kaiser and B.C.Walker – UKAEA – Atmospheric Environment, 1978 vol. 12 pp. 2289-2300.

- [114] "Emergency Response to Chemical Spills" – W.Brock Neely – EnviroSoft, Inc. ISBN 0-87371-733-3 (1992)
- [115] "Scale effects with fire exposure of pressure-liquefied gas" A.M. Birk – Journal of Loss Prevention in the process industries Vol 8 N. 5 pag 275 (1995)
- [116] ISC3 – Industrial Source Complex Dispersion Model – User's Guide – US EPA 1987-'95 e Vol. 2 1999
- [117] AERMOD – User's Guide, Description of model formulation – US EPA – 2004
- [118] Screen3 - User's Guide – EPA 454/B-95-004.
- [119] Guidelines for Consequence Analysis of Chemical Releases – AIChE-CCPS 1999
- [120] "Particle and gas deposition: a review" G.A. Sehmel – Atmospheric Environment, Vol.14 pp.983-1011
- [121] "Improved Formulations for Air-Surface Exchanges Related to National Security Needs: Dry Deposition Model" J.G.Droppo – Pacific Northwest National Laboratory & Battelle (2006) pag. 3.10 (p.32) 3.14 (p.36) 3.24 e seguenti (p.46 ...) (rif. gravitational settling e altri fenomeni)
- [122] R.J.Wooley - Chemical Engineering -31/3/1986
- [123] Handbook of Chemical Property Estimation Methods – Warren J.Lyman, William F.Reehl, David H.Rosenblatt – American Chemical Society – 3a ed. 1993 - ISBN 0-8412-1761-0
- [124] "EPA – Water Quality Assessment: A screening procedure for toxic and conventional pollutants in surface and ground water - Part I" 1985
- [125] REMM "Riverine Emergency Management Model" (NOAA R&R) sviluppato da U.S. Arms Corps of Engineers
- [126] Enviro Technical Information Problem Spills – Introduction manual 1985 – Technical Services Branch, Environmental Protection Program Directorate & Environmental Protection Service – Ottawa – Canada
- [127] "Methods for the Calculation of Physical Effects due to release of hazardous material (liquid and gases)" CPR14E (TNO) - Olanda (3<sup>rd</sup> ed. 2005).
- [128] "Hydrocarbons Spreading in Venice Lagoon. Experimental verification" Advances in Environmental Modelling (proceedings of symposium held in Venice from 22 to 26 june 1987) ISBN 0-444-41948-9 (series) Elsevier Science Pub.
- [129] D.M.Interno 3 agosto 2015 – allegato 1 "Norme tecniche di prevenzione incendi"

## 8. APPENDICI

### 8.1 DATI PER MODELLO IRRAGGIAMENTO

**Table 5.8** 'Flammability parameters' determined by Tewarson and Pion (1976)

Combustibles <sup>a</sup>	$L_v$ (kJ/g)	$\dot{Q}_F'$ (kW/m <sup>2</sup> )	$\dot{Q}_L'$ (kW/m <sup>2</sup> )	$\dot{m}'_{ideal}$ (g/m <sup>2</sup> .s)
FR phenolic foam (rigid)	3.74	25.1	98.7	11 <sup>b</sup>
FR polyisocyanurate foam (rigid, with glass fibres)	3.67	33.1	28.4	9 <sup>b</sup>
Polyoxymethylene (solid)	2.43	38.5	13.8	16
Polyethylene (solid)	2.32	32.6	26.3	14
Polycarbonate (solid)	2.07	51.9	74.1	25
Polypropylene (solid)	2.03	28.0	18.8	14
Wood (Douglas fir)	1.82	23.8	23.8	13 <sup>b</sup>
Polystyrene (solid)	1.76	61.5	50.2	35
FR polyester (glass-fibre reinforced)	1.75	29.3	21.3	17
Phenolic (solid)	1.64	21.8	16.3	13
Polymethylmethacrylate (solid)	1.62	38.5	21.3	24
FR polyisocyanurate foam (rigid)	1.52	50.2	58.5	33
Polyurethane foam (rigid)	1.52	68.1	57.7	45
Polyester (glass fibre reinforced)	1.39	24.7	16.3	18
FR polystyrene foam (rigid)	1.36	34.3	23.4	25
Polyurethane foam (flexible)	1.22	51.2	24.3	32
Methyl alcohol (liquid)	1.20 <sup>a</sup>	38.1	22.2	32
FR polyurethane foam (rigid)	1.19	31.4	21.3	26
Ethyl alcohol (liquid)	0.97	38.9	24.7	40
FR plywood	0.95	9.6	18.4	10 <sup>b</sup>
Styrene (liquid)	0.64 <sup>a</sup>	72.8	43.5	114
Methylmethacrylate (liquid)	0.52	20.9	25.5	76
Benzene (liquid)	0.49 <sup>a</sup>	72.8	42.2	149
Heptane (liquid)	0.48 <sup>a</sup>	44.3	30.5	93

<sup>a</sup> Weast, 1974/75.

<sup>b</sup> Charring materials.  $\dot{m}'_{ideal}$  taken as the peak burning rate.

#### 178 Steady burning of liquids and solids

**Table 5.10** Burning rates of plastics fires (Markstein, 1979)

Fuel <sup>a</sup>	Emissivity <sup>b</sup>	$\dot{m}''$ (g/m <sup>2</sup> .s)
Polystyrene	0.83	14.1 ± 0.8
Polypropylene	0.4	8.4 ± 0.6
Polymethylmethacrylate	0.25	10.0 ± 0.7 <sup>c</sup>
Polyurethane foam	0.17	8.2 ± 1.8
Polyoxymethylene	0.05	6.4 ± 0.5

<sup>a</sup> Except for polyurethane foam, the fuels were burnt as pools, 0.31 × 0.31 m. Data for PUF deduced from a spreading fire.

<sup>b</sup> As measured 0.051 m above the fuel bed.

<sup>c</sup> 0.73 m diameter pool of PMMA gave  $\dot{m}'' = 20.0 \pm 1.4$  g/m<sup>2</sup>.s.

"An introduction to Fire Dynamics" – Dougal Drysdale – 1999 – ISBN 0-471-97290-8 pp. 193/198

## 8.2 VELOCITÀ DI FIAMMA

Per modello UVCE (deflagrazione)

Bassa (40 m/s)	Media (80 m/s)	Alta (120 m/s)
allil cloruro	acetaldeide	acetilene
ammoniaca	acetonitrile	alcool allilico
1,3-dicloropropano	acido formico	benzene
epicloridrina	acrilonitrile	butil mercaptani
etil cloruro	benzina	etil formiato
metano	1,3-butadiene	etilmercaptano
metil bromuro	n-butano	formaldeide
metil cloruro	buteni	metil acrilato
ossido di carbonio	dietilammina	ossido di etilene
piombo tetraetile	etano	ossido di propilene
	etilendiammina	solfuro di carbonio
	etilene	solvent-naphta
	propano	tetraidrotiofene
	vinil cloruro	vinil acetato

(fonte [1])