

# Protezione delle autocisterne e delle ferro cisterne per la riduzione del rischio da **BLEVE**



PAOLO BIGGI- I.S.A. 16 ottobre 2013

# Boiling liquid expanding vapor explosion

## DEFINIZIONE DI BLEVE -rif. AIChE-

- "PERDITA IMPROVVISA DI CONTENIMENTO DI UN GAS LIQUEFATTO PRESSURIZZATO CHE AL MOMENTO DELLA ROTTURA SI TROVA AL DI SOPRA DEL SUO PUNTO DI EBOLLIZIONE ALLA PRESSIONE ATMOSFERICA, CON CONSEGUENTE RAPIDA ESPANSIONE DEL VAPORE E FLASH DEL LIQUIDO"

## ELEMENTI CHIAVE

- UN LIQUIDO CHE SI TROVA AL DI SOPRA DEL SUO PUNTO DI EBOLLIZIONE;
- IL CONTENIMENTO; (consente la pressurizzazione del liquido in modo da non permetterne l'ebollizione)
- UNA PERDITA IMPROVVISA DI CONTENIMENTO.

# Boiling liquid expanding vapor explosion

## CAUSE

- PERDITA DI INTEGRITA' MECCANICA;
- PRESSURIZZAZIONE OLTRE LA PRESSIONE DI ROTTURA;
- AGENTI ESTERNI (ES: INCENDIO);
- DIFETTI DI FABBRICAZIONE, DI INSTALLAZIONE.

## TIPOLOGIE DI BLEVE

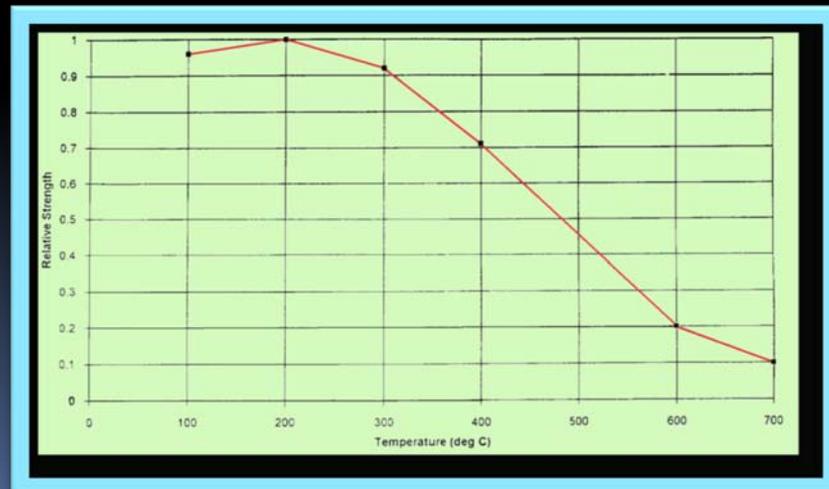
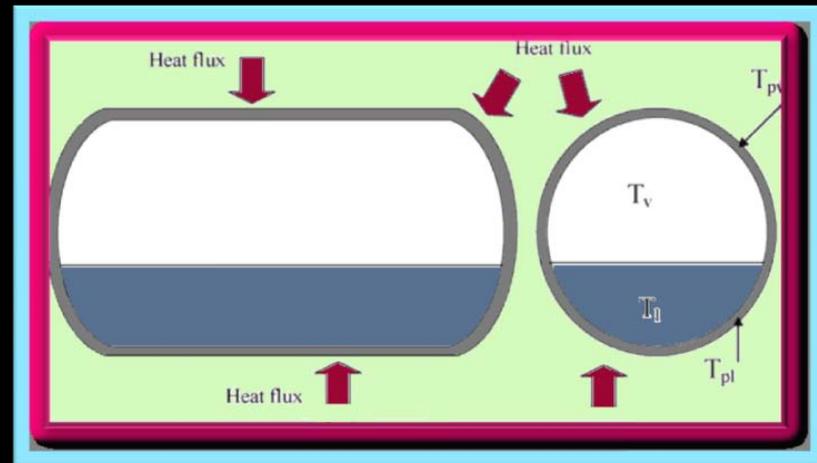
- BLEVE "CALDO";
- BLEVE "FREDDO".

LA PIU' COMUNE CAUSA DI BLEVE E' IL SURRISCALDAMENTO DEL SERBATOIO DOVUTO AD UN INCENDIO ESTERNO.

# RIDUZIONE DELLE PROPRIETA' MECCANICHE DEGLI ACCIAI

IN UN INCENDIO SEVERO LE PARETI IN CONTATTO CON IL VAPORE POSSONO RAGGIUNGERE TEMPERATURE SUPERIORI A 600 °C.

A TALE VALORE GLI ACCIAI HANNO PERDUTO CIRCA L' 80 % DELLA LORO RESISTENZA



# REAZIONE DEL LIQUIDO

IL LIQUIDO VICINO  
ALLE PARETI DEL  
SERBATOIO  
SUBISCE UN  
INCREMENTO DI  
TEMPERATURA

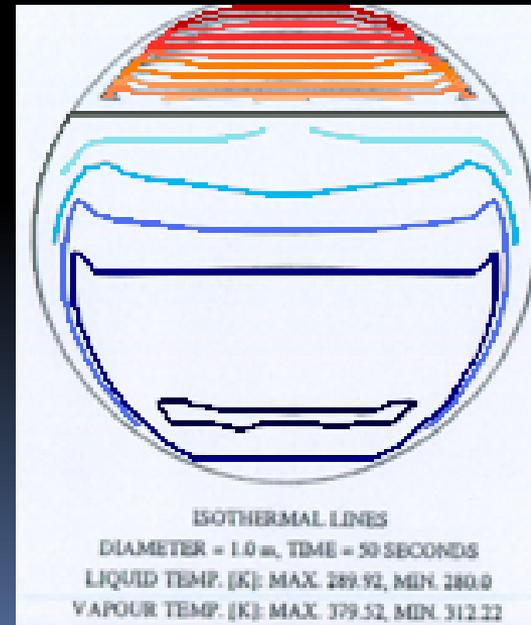


IL LIQUIDO NEL SERBATOIO  
DIVENENDO MENO DENSO  
SALIRA' PRODUCENDO UN  
MOTO CONVETTIVO:

IL LIQUIDO SI STRATIFICA  
TERMICAMENTE.



AUMENTO DELLA  
PRESSIONE  
INTERNA AL  
SERBATOIO



# INDEBOLIMENTO DEL MATERIALE

L'AUMENTO DELLA  
PRESSIONE INTERNA ED  
IL DEGRADO DELLE  
PROPRIETA'  
MECCANICHE DEL  
MATERIALE, POSSONO  
CONDURRE AD UN  
CEDIMENTO DELLE  
PARETI DEL SERBATOIO  
IN BREVE TEMPO.

SE LA CRICCA  
RAGGIUNGE LA  
LUNGHEZZA CRITICA, IL  
SERBATOIO SI ROMPERA'  
CATASTROFICAMENTE



Rottura parziale con  
rilascio bifasico a jet

# ESPANSIONE DEL VAPORE E FLASH DEL LIQUIDO

PERDITA DI  
CONTENIMENTO

RAPIDA  
ESPANSIONE DEL  
VAPORE E FLASH  
DEL LIQUIDO  
SURRISCALDATO

ONDA DI  
PRESSIONE E  
PROIEZIONE DI  
FRAMMENTI

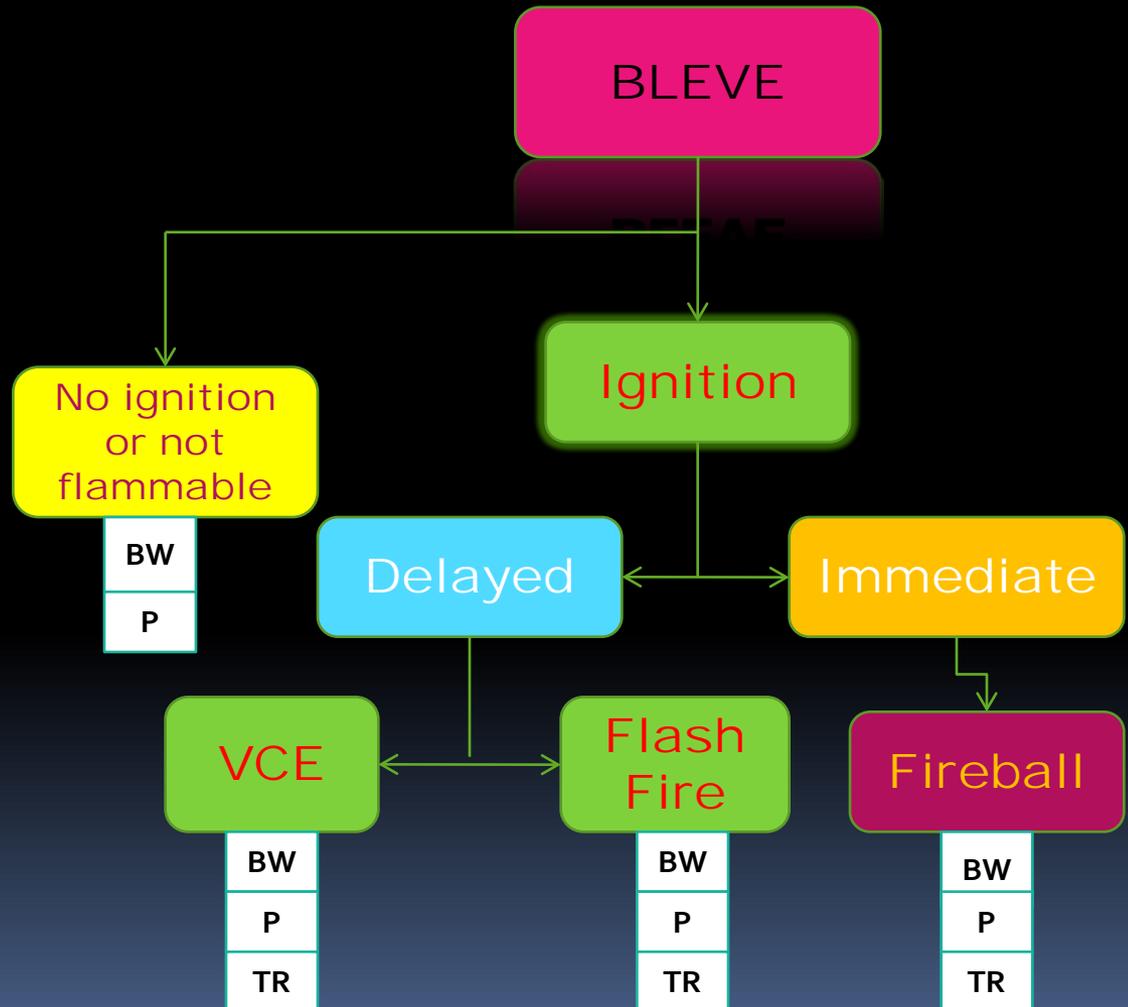


# CONSEGUENZE

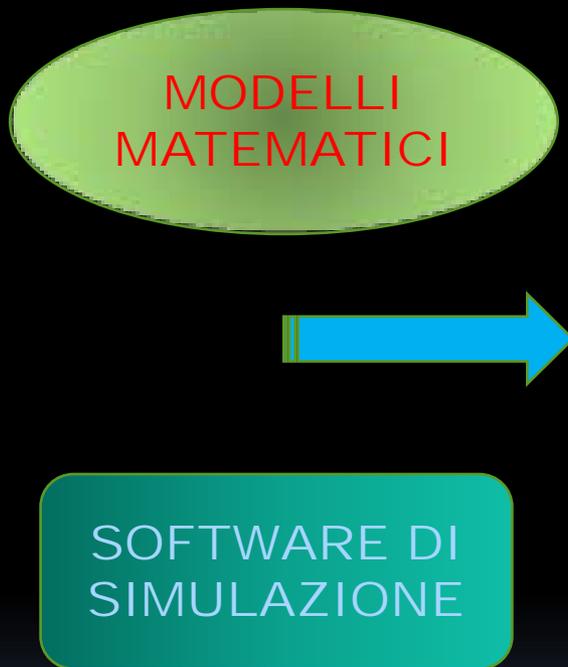
- ONDA DI PRESSIONE (BW)

- RADIAZIONE TERMICA (TR)

- FRAMMENTAZIONE DEL SERBATOIO (P)



# MODELLIZZAZIONE DI UNA BLEVE



- Previsione variazione condizioni interne al serbatoio nelle fasi precedenti alla BLEVE;
- Previsione tempo primo intervento PRV;
- Previsione tempo rottura serbatoio.

# TEMPO PRIMO INTERVENTO PRV

CON L'APERTURA  
DELLA P.R.V.  
INIZIANO VARI  
PROCESSI:

- DESTRAFIFICAZIONE TERMICA;
- (TENTATA) LIMITAZIONE DELLA PRESSIONE;
- DIMINUIZIONE LIVELLO DEL LIQUIDO;



EFFETTI  
SULL'ENERGIA  
IMMAGAZZINATA  
AL MOMENTO  
DELLA ROTTURA  
(E SULLE  
CONSEGUENZE).

# SCOPO DEL LAVORO CONDOTTO

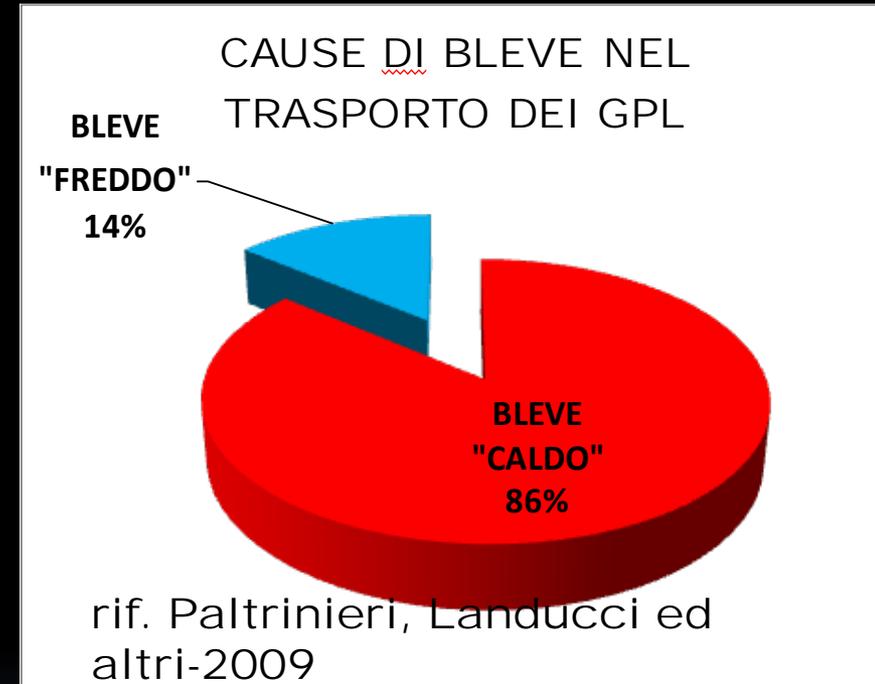
-MODELLIZZAZIONE DI UNA BLEVE MEDIANTE L'IMPIEGO DI SOFTWARE;

-COMPARAZIONE DEI RISULTATI OTTENUTI CON DATI SPERIMENTALI ;

- IMPIEGO DEL SIMULATORE PER ANALIZZARE IL COMPORTAMENTO DEI SERBATOI UTILIZZATI NEL TRASPORTO NEL CASO DI ESPOSIZIONE AD UN INCENDIO ESTERNO;

↓

-ANALISI SERBATOI NON PROTETTI E MUNITI DI SISTEMI DI PROTEZIONE PASSIVA.



# ANALISI E CONFRONTO DI DATI SPERIMENTALI

## SERBATOI MUNITI DI PRV

- DROSTE e SCHOEN (1988);
- MOODIE ed altri (1988);
- ANDERSON ed altri (1974);
- BIRK ed altri (2002);

## SERBATOI MUNITI DI PRV ED ISOLAMENTO TERMICO

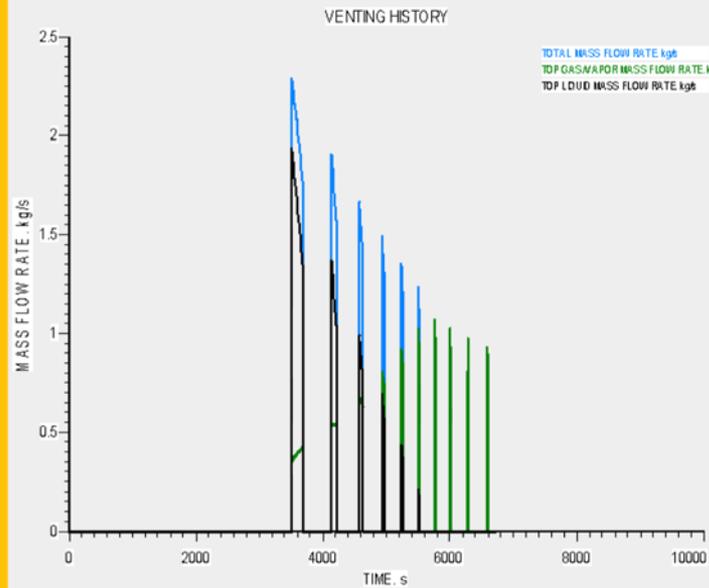
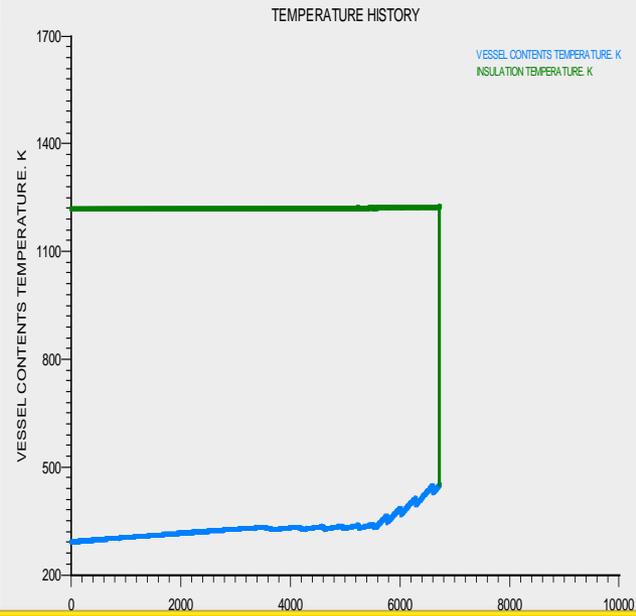
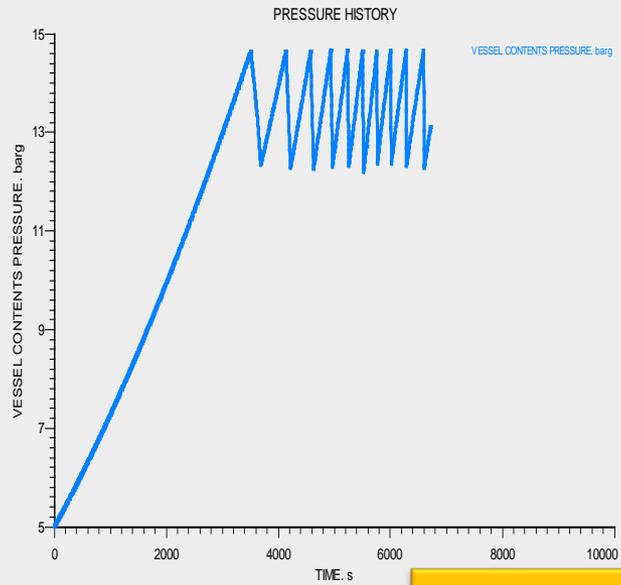
- DROSTE e SCHOEN (1988);
- TOWNSEND ed altri (1974);
- FAUCHER ed altri (1993);
- LANDUCCI ed altri (2009).

# CONFRONTO TEMPI PRIMO INTERVENTO PRV TEST DROSTE (serbatoi NON protetti)

Fonte dati Speriment.	Cap. serb. propano non protetto [m <sup>3</sup> ]	Livello riempim. Serb. [%]	Press. propano prima del test [bar]	Press. apertura PRV [bar]	T <sub>PRV</sub> misurati [s]	T <sub>PRV</sub> calcolati con S.Ch. [s]	Press. apertura PRV calcolata con S.Ch. [bar]	Flusso termico considerato nelle simulazioni con S.Ch. [kW/m <sup>2</sup> ]	Fraz. area totale del serbatoio esposta all'incendio considerata da S.Ch.
Test n. 1	4,85	50	5,5	16,4	340	336	16,4	55	0,5
Test n. 2	4,85	50	13,5	17,3	100	97	17,3	55	0,5
Test n. 3	4,85	50	9,8	16,0	150	172	16,0	55	0,5

# CONFRONTO TEMPI PRIMO INTERVENTO PRV TEST LANDUCCI (serbatoio isolato termicamente)

Capacità serbatoio GPL protetto con isolam. termico [m <sup>3</sup> ]	Livello riempimento [%]	Press. GPL prima del test [bar]	Press. apertura PRV [bar]	T <sub>PRV</sub> misurati [s]	T <sub>PRV</sub> calcolati con S.Ch. [s]	Pressione apertura PRV calcolata con S.Ch. [bar]	Flusso termico considerato nella simulazione con S.Ch. [kW/m <sup>2</sup> ]	Frazione area totale del serbatoio esposta all'incendio considerata da S.Ch.	Spessore strato vernice intumesc. e relativa conducibil. termica
3	50	5,0	14,6	3660	3505	14,6	130	0,50	10 mm (fattore medio di espansione pari a 2,5); 0,066 W/mK



# SIMULAZIONI CON CISTERNE IMPIEGATE NEL TRASPORTO TERRESTRE

## RIFERIMENTI NORMATIVI

- DIRETTIVA 2012/45/UE

ADR e RID 2013

Non prevedono  
l'applicazione di  
misure di protezione  
passiva

## PROPOSTE

- ADOZIONE DI :

ISOLAMENTO  
TERMICO;  
P.R.V.

# SIMULAZIONI CON CISTERNE IMPIEGATE NEL TRASPORTO TERRESTRE

- AUTOCISTERNA 56 m<sup>3</sup>;
- FERROCISTERNA 127 m<sup>3</sup>;

## COMPARAZIONE RISULTATI:

- CISTERNE SPROVVISTE DI SISTEMI DI PROTEZIONE PASSIVA;
- CISTERNE PROVviste DI PRV;
- CISTERNE PROTETTE CON ISOLAMENTO TERMICO E PRV;
- CISTERNE PROTETTE CON SOLO ISOLAMENTO TERMICO.

# CONFRONTO FERROCISTERNA 127 m<sup>3</sup> SENZA /CON PROTEZIONE

Condizioni iniziali e risultati	Serbatoio senza protezioni	Serbatoio con sola PRV	Serbatoio con PRV ed isolamento termico
Pressione iniziale propano, (bar)	5,5	5,5	5,5
Livello riempimento, (%)	50	50	50
Valore del flusso termico, (kW/m <sup>2</sup> )	130	130	130
Frazione dell'area esposta	0,5	0,5	0,5
Coefficiente di trasferimento del calore materiale isolante, (W/m <sup>2</sup> K)			2,66
Pressione apertura PRV, calcolata con SuperChems, (bar)		17,63	-
T <sub>PRV</sub> calcolato con SuperChems, (s)		394	-
Pressione interna al serbatoio alla fine della simulazione, (bar)	30,04	17,06	12,42
Temperatura finale, (K)	353,30	473,65	312,29
Livello riempimento finale, (%)	62	0	53,26
<b>Tempo rottura stimato per superamento delle condizioni limite, (s)</b>	<b>683</b>	<b>992</b>	(non si registra nel tempo di simulazione pari a 6600 s)

# SIMULAZIONI CON AUTOCISTERNA CON PRV ED ISOLAMENTO TERMICO

Condizioni iniziali e risultati	n.1	n. 2	n.3
Temperatura iniziale propano, ( C)	10	10	25
Pressione iniziale propano, (bar)	5,5	5,5	8,5
Livello riempimento, (%)	50	20	20
Volume nominale, (m <sup>3</sup> )	56	56	56
Valore del flusso termico, (kW/m <sup>2</sup> )	130	130	130
Frazione dell'area esposta	0,5	0,2	0,2
Coefficiente di trasferimento del calore materiale isolante, (W/m <sup>2</sup> K)	2,67	2,67	2,67
Durata della simulazione, (min)	110	110	110
Pressione apertura PRV, calcolata con SuperChems, (bar)	-	17,61	17,62
T <sub>PRV</sub> calcolato con SuperChems, (s)	-	5170	3658
Pressione interna al serbatoio alla fine della simulazione, (bar)	14,08	16,36	15,51
Temperatura finale, (K)	317,42	323,84	329,57
Livello riempimento finale, (%)	53,97	4,61	0

# SIMULAZIONE CON FERROCISTERNA CON SOLO ISOLAMENTO TERMICO

Condizioni iniziali e risultati	n.1	n.2
Temperatura iniziale propano, ( C)	10	25
Pressione iniziale propano, (bar)	5,5	8,5
Livello riempimento, (%)	10	10
Volume nominale, (m <sup>3</sup> )	127	127
Valore del flusso termico, (kW/m <sup>2</sup> )	130	130
Frazione dell'area esposta	0,1	0,1
Coefficiente di trasferimento del calore materiale isolante, (W/m <sup>2</sup> K)	1,80	1,80
Durata della simulazione, (min)	110	110
Temperatura finale di contenuto, (K)	330,02	338,86
Pressione finale, (bar)	18,77	22,63
Livello riempimento finale, (%)	4,64	2,87

# SCELTA DEL TEMPO DI SIMULAZIONE



- ✓ TEMPO ARRIVO SUL POSTO DEI VVF;
- ✓ ADOZIONE MISURE MITIGATIVE DA PARTE DEI VVF (rif. dati storici Olanda 75 min);
- TEMPO RICHIESTO PER PROTEZIONE TERMICA DELLE FERROCISTERNE IN NORD AMERICA 100 MINUTI.

# CONCLUSIONI

- LA RIDUZIONE DEL RISCHIO DI BLEVE "CALDO" SI CONSEGUE MEDIANTE L'ADOZIONE DI EFFICACI MISURE DI PROTEZIONE PASSIVA;
- DA TEMPO SONO DISPONIBILI I RISULTATI DI TEST SPERIMENTALI CHE DOCUMENTANO L'EFFICACIA DI TALI MISURE ANCHE NEL CASO DEL TRASPORTO;

# CONCLUSIONI

- LO STUDIO CONDOTTO MOSTRA CHE E' POSSIBILE PROTEGGERE I SERBATOI ANCHE CON IL SOLO ISOLAMENTO TERMICO;
- NEL CAMPO DEL TRASPORTO SONO QUINDI AUSPICABILI STUDI PER INGEGNERIZZARE LA REALIZZAZIONE DI SISTEMI DI PROTEZIONE PASSIVA, PREVEDENDONE L'APPLICAZIONE IN CAMPO NORMATIVO.

**Grazie per l'attenzione!**