



UNIVERSITA' DI PARMA



UNIVERSITA' DI PARMA

# Rischio di esplosione: principi fisici

**Sara Rainieri**

Dipartimento di Ingegneria Industriale

Laboratorio di Energetica

Università di Parma

sara.rainieri@unipr.it

Gli impianti nei luoghi con pericolo di esplosione:

evoluzione della normativa

30 Marzo 2010

# Esplosione

- L'esplosione è una combustione a propagazione molto rapida.
- Quindi avviene a seguito di un **innesco** in una miscela **combustibile-comburente** con conseguente rapida espansione del volume o rapido aumento della pressione, a seconda che l'azione avvenga o no in uno spazio confinato.
- La reazione può avvenire in presenza di **gas infiammabili** o di **polveri** sospese nella miscela.

# Esplosione

- **Deflagrazione**, quando l'ossidazione procede velocemente (velocità del fronte di fiamma di alcune decine di m/s) (velocità subsonica)
- **Detonazione** se il processo di ossidazione è praticamente istantaneo (velocità supersonica del fronte di propagazione della fiamma – alcune migliaia di m/s)

# Infiammabilità

- Per ogni combustibile (gassoso) esistono un **limite inferiore** e **superiore** di concentrazione in aria al di fuori dei quali la combustione non si verifica ovvero non si propaga, pur in presenza di una piccola sorgente di energia (scintilla, ...).
- Miscele combustibile-aria sono infiammabili o esplodibili (i due termini sono sinonimi) solo all'interno di un intervallo di concentrazioni definito dal limite inferiore **Li** e dal limite superiore **Ls**.

# Infiammabilità

- Per definizione, questi due limiti rappresentano la minima e la massima concentrazione di combustibile (solitamente espressa come percentuale in volume nella miscela combustibile-aria) che può sostenere la propagazione della fiamma. Questi limiti vengono anche indicati come “lower (lean) and upper (rich) flammable limits” (**LFL, UFL**) oppure come “lower and upper explosion limits“ (**LEL, UEL**).

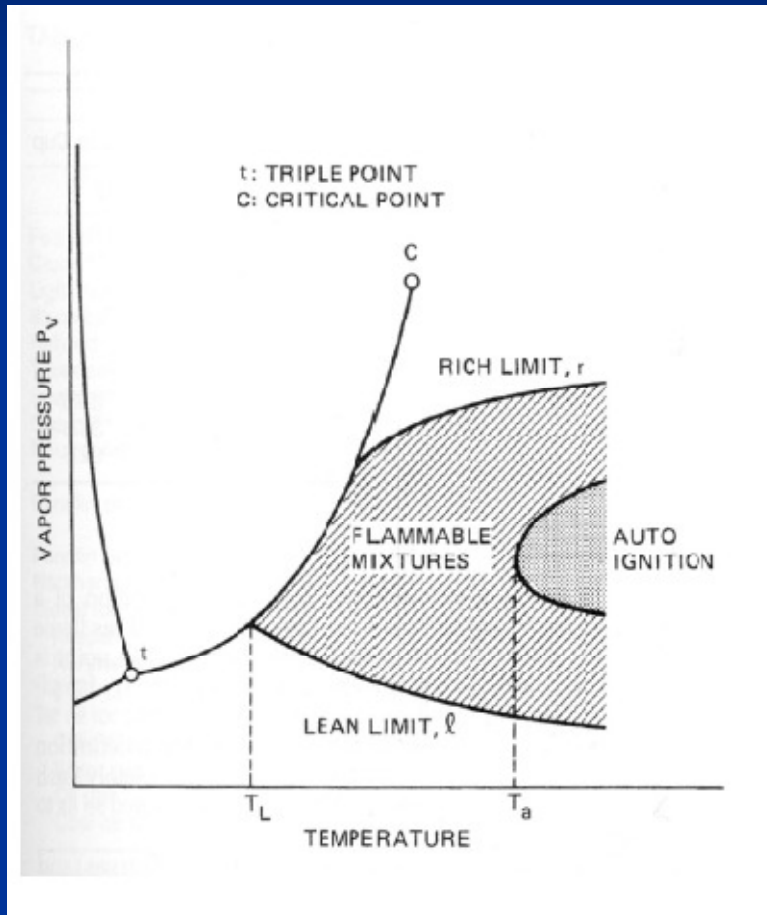
# Infiammabilità

- All'interno dei suddetti limiti una sorgente casuale di energia (surriscaldamenti, scariche elettriche, fiamme libere, ecc.) o l'autoaccensione della miscela possono innescare localmente la reazione di combustione.
- Molti combustibili hanno un intervallo di infiammabilità abbastanza ristretto; è allora relativamente facile evitare di manipolarli in condizioni pericolose.
- Altri hanno un intervallo tanto esteso che soltanto loro miscele molto "ricche" o molto "povere" di combustibile si trovano al di fuori dei limiti pericolosi.

# Il flash point

- Nel caso di combustibili liquidi i limiti possono essere espressi oltre che in percentuale in volume anche in termini di temperatura. La temperatura più bassa alla quale il vapore evaporato dal liquido forma con l'aria una miscela che si infiamma sotto l'azione di una sorgente di accensione è definita punto di infiammabilità (punto di flash).
- Alla temperatura del punto di infiammabilità la concentrazione dei vapori infiammabili in aria corrisponde approssimativamente al limite inferiore.

# Diagrammi di infiammabilità



Limite inferiore

$$V_i/V = n_i/n = p_i/p$$

$$p_i = p \cdot V_i/V$$

$$T_{\text{sat}}(p_i) = \text{flash point}$$

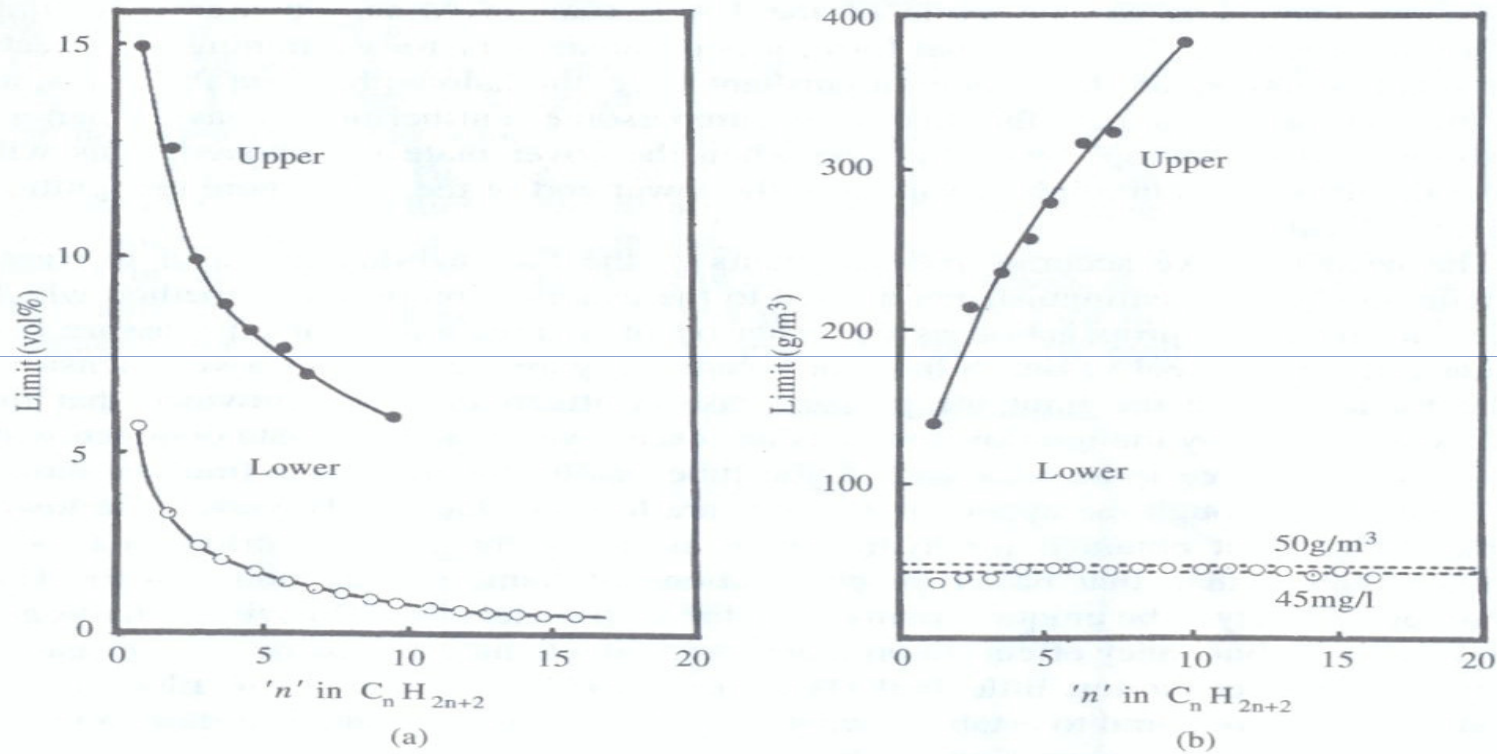
# Infiammabilità

- Se espresso in percentuale in volume i limiti di infiammabilità di molti idrocarburi decrescono con il crescere della massa molare. Se espressi in concentrazione in massa ( $\text{g}/\text{m}^3$ ) il limite inferiore di infiammabilità è circa costante per i combustibili C4-C10  $48 \text{ g}/\text{m}^3$ .

# Infiammabilità

- Dato che l'entalpia di combustione per gli alcani è circa costante ( $\sim 45 \pm 1$  kJ/g) il limite inferiore può anche essere interpretato come una densità di energia ( $\sim 2160$  kJ/m<sup>3</sup>).
- Questo suggerisce la definizione di un valore **critico per la densità di energia**
- Per la maggior parte degli idrocarburi la densità di energia è  $\sim 2050 \pm 150$  kJ/m<sup>3</sup>).

# Infiammabilità



**Figure 3.6** Variation of the lower (○) and upper (●) flammability limits with carbon number for the  $n$ -alkanes. Limits expressed as (a) percentage by volume; (b) mass concentration ( $g/m^3$ ). (Data from Zabetakis, 1965)

# Infiammabilità

- E' importante ricordare che i limiti di infiammabilità dipendono da:
  - - natura del comburente
  - - temperatura e pressione
  - - presenza di gas inerti o di altri gas infiammabili

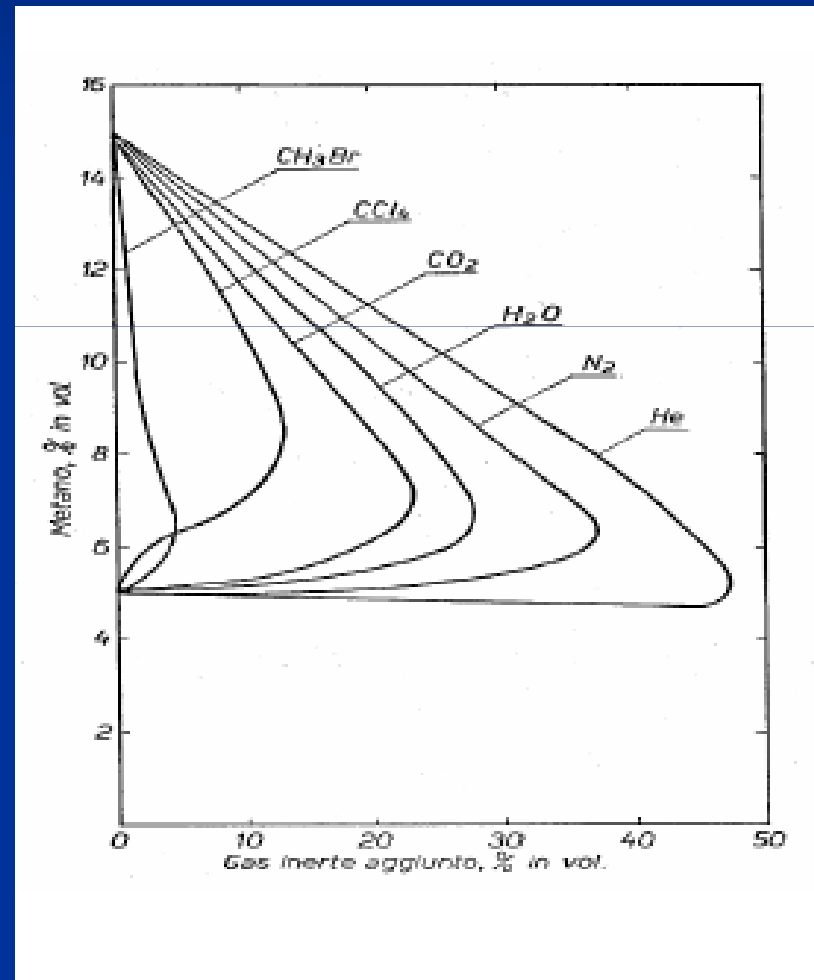
# Infiammabilità

Limiti di infiammabilità di alcuni combustibili in miscela con diversi ossidanti a 20°C e a pressione atmosferica

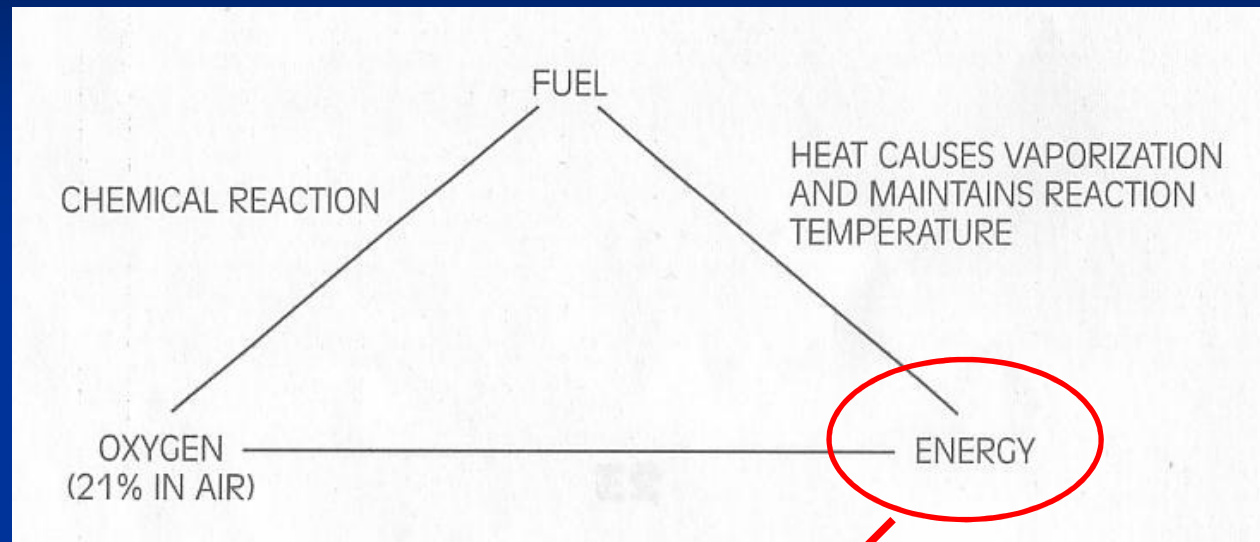
	Aria		Ossigeno		Cloro		Ossido nitroso		Ossido nitrico	
	L <sub>i</sub>	L <sub>s</sub>	L <sub>i</sub>	L <sub>s</sub>	L <sub>i</sub>	L <sub>s</sub>	L <sub>i</sub>	L <sub>s</sub>	L <sub>i</sub>	L <sub>s</sub>
Metano	5	15	5,1	61	5,6	70	4,3	22,9	8,6	21,7
Etano	3	12,4	3	66	6,1	58	-	-	-	-
Etilene	2,7	36	2,9	80	-	-	1,9	40	-	-
Idrogeno	4	75	4	94	4	89	3	84	6,6	66

# Infiammabilità

Aggiunta di inerti: (metano - aria)



# Il triangolo del fuoco



Un innesco (cioè una sorgente che rilasci un adeguato valore di energia che è in grado di dare avvio al processo di combustione) tale da assicurare il raggiungimento della temperatura di ignizione del combustibile

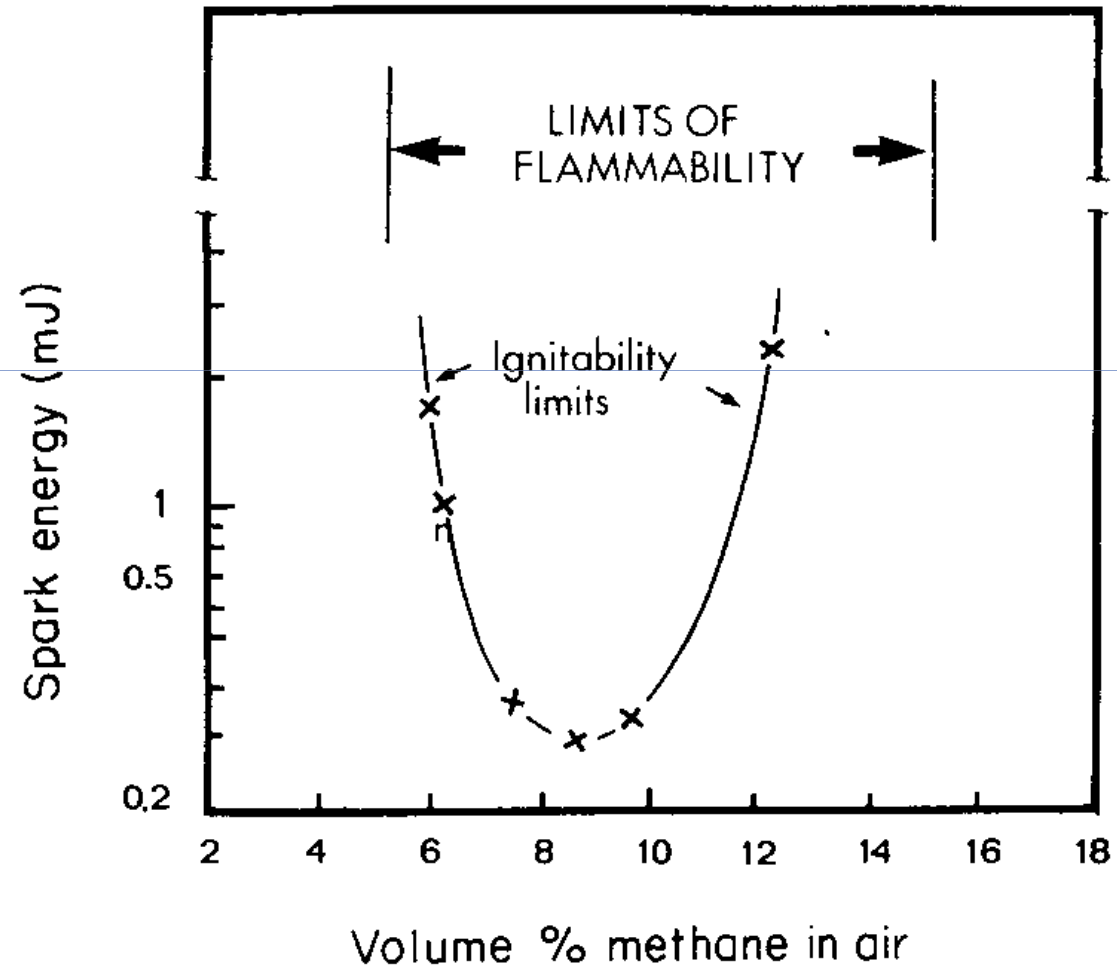
# Innesco

- Quando la concentrazione del combustibile si trova entro i limiti di accensione è sufficiente una modesta quantità di energia (dell'ordine del mJ) per provocare l'accensione.
- Quindi il rischio di esplosione è correlato alla probabilità che si instauri una miscela combustibile - comburente entro i limiti di infiammabilità e che sia presente una sorgente di innesco in grado di liberare una data quantità di energia.

# Energia di accensione

- È noto che l'energia di accensione varia al variare della concentrazione del combustibile e tende ad un **minimo** in prossimità della concentrazione **stechiometrica**; inoltre l'energia di accensione aumenta drasticamente in prossimità delle concentrazioni corrispondenti ai limiti di infiammabilità.
- **Energia minima di accensione**

# Energia di accensione



# Incremento di pressione

- Stima dell'incremento di pressione conseguente all'esplosione in un ambiente confinato.
- Nell'ipotesi di miscela di gas perfetti, si ha:
- $P_f / P_i = (n_f T_f) / (n_i T_i)$  ed essendo  $n_f / n_i \sim 1$
- $P_f / P_i \approx T_f / T_i$
- Considerando il massimo valore di  $T_f$  (la temperatura adiabatica di fiamma) si ha: ad esempio per il propano
- $P_f / P_i \sim 2462 \text{ K} / 293 \text{ K} \sim 8.4$

# Esplosione da polveri

- Nel caso delle polveri, invece, i valori sono espressi in termini di massa di polvere per unità di volume di aria (mg/l).
- Un'altra particolarità delle polveri è che l'infiammabilità o esplosibilità di un dato materiale può variare moltissimo a seconda del grado di suddivisione (granulometria), dell'invecchiamento, del contenuto di umidità, della formulazione chimica, etc...
- Grazie per l'attenzione!