

ESPLOSIONE

***L'ESPLOSIONE E' L'IMPROVVISO RILASCIO
DELL'ENERGIA CHE, IN UNA DELLE TANTE
FORME POSSIBILI, E' IMMAGAZINATA IN UN
SISTEMA***

***UN METODO EMPIRICO DI DISCRIMINAZIONE RICONOSCE
COME ESPLOSIONI SOLTANTO QUEI PROCESSI IN CUI GLI
EFFETTI DELLE ONDE DI PRESSIONE ASSOCIATE AL
RILASCIO DI ENERGIA, SONO PERCEPIBILI ALL'ORECCHIO
UMANO***

ENERGIA

L'energia può essere presente sotto varie forme quali nucleare, di pressione, chimica, elettrica e così via.

ESEMPI

	<i>KJ/Kg</i>
<i>FUSIONE NUCLEARE</i>	<i>3.3 10¹¹</i>
<i>FISSIONE NUCLEARE</i>	<i>8.210¹⁰</i>
<i>H2 LIQUIDO + OSSIGENO LIQUIDO</i>	<i>16700</i>
<i>TNT</i>	<i>4500</i>
<i>MISCELA DI METANO ARIA</i>	<i>3594</i>
<i>CARBONE</i>	<i>2930</i>

TIPI DI ESLOSIONI

ESPLOSIONI DI POLVERI O DI COMBUSTIBILI FLUIDI O DI COMBUSTIBILI GASSOSI IN VOLUMI LIBERI OD IN VOLUMI CONFINATI

ESPLOSIONI DI SERBATOI CONTENENTI FLUIDI IN PRESSIONE CHE HANNO L'INNESCO IN UN PUNTO DEBOLE DELLA STRUTTURA

ESPLOSIONI DI VAPORE CHE SI PRODUCONO QUANDO DUE SOSTANZE DI DIVERSA TEMPERATURA SONO RAPIDAMENTE MISCELATE TRA DI LORO

ESPLOSIONI CHIMICHE CAUSATE DA REAZIONI CHE SFUGGONO PER INCONTROLLATE VARIAZIONI DEL PROCESSO

ESPLOSIONI IN FASE CONDENSATA

ESPLOSIONI NUCLEARI

PRINCIPALI GAS

ACETILENE C₂H₂

- ***E' ESSENZIALMENTE USATO NEI PROCESSI CHIMICI E NELLE OPERAZIONI DI SALDATURA E TAGLIO***

IDROGENO H₂

- ***E' GENERALMENTE USATO IN PROCESSI CHIMICI, PER L'IDROGENAZIONE DI OLI COMMESTIBILI, IN OPERAZIONI DI SALDATURA E TAGLIO, COME REFRIGERANTE NEI GRANDI ALTERNATORI ELETTRICI, COME PROPELLENTE PER I VETTORI AEROSPAZIALI***

ETILENE C₂H₄

- ***E' MOLTO USATO PER FABBRICARE POLIETILENE PLASTICO E TROVA APPLICAZIONE NELL'INDUSTRIA ALIMENTARE PER MATURARE LA FRUTTA***

PRINCIPALI GAS (cont.)

GAS NATURALE (LNG quando liquefatto)

- ***LA MISCELA DISTRIBUITA CAPILLARMENTE PER USI CIVILI E' ESSENZIALMENTE COMPOSTA DA METANO CON POCHE PARTI DI ETANO E AZOTO***

GAS DERIVATO DAL PETROLIO (GPL quando liquefatto)

- ***E' ESSENZIALMENTE UNA MISCELA DI COMPOSIZIONE VARIABILE DI PROPANO E BUTANO, USATA COME FONTE DI ENERGIA E IN PROCESSI CHIMICI***

GAS ANESTETICI

- ***ETERE DIETILICO E CICLOPROPANO MESCOLATI CON OSSIGENO FURONO USATI COMUNEMENTE COME ANESTETICI PER USI MEDICI***





Esplosione in una cartiera



Esplosione in un Inceneritore





NAVE

C
H
I
M
I
C
H
I
E
R
A



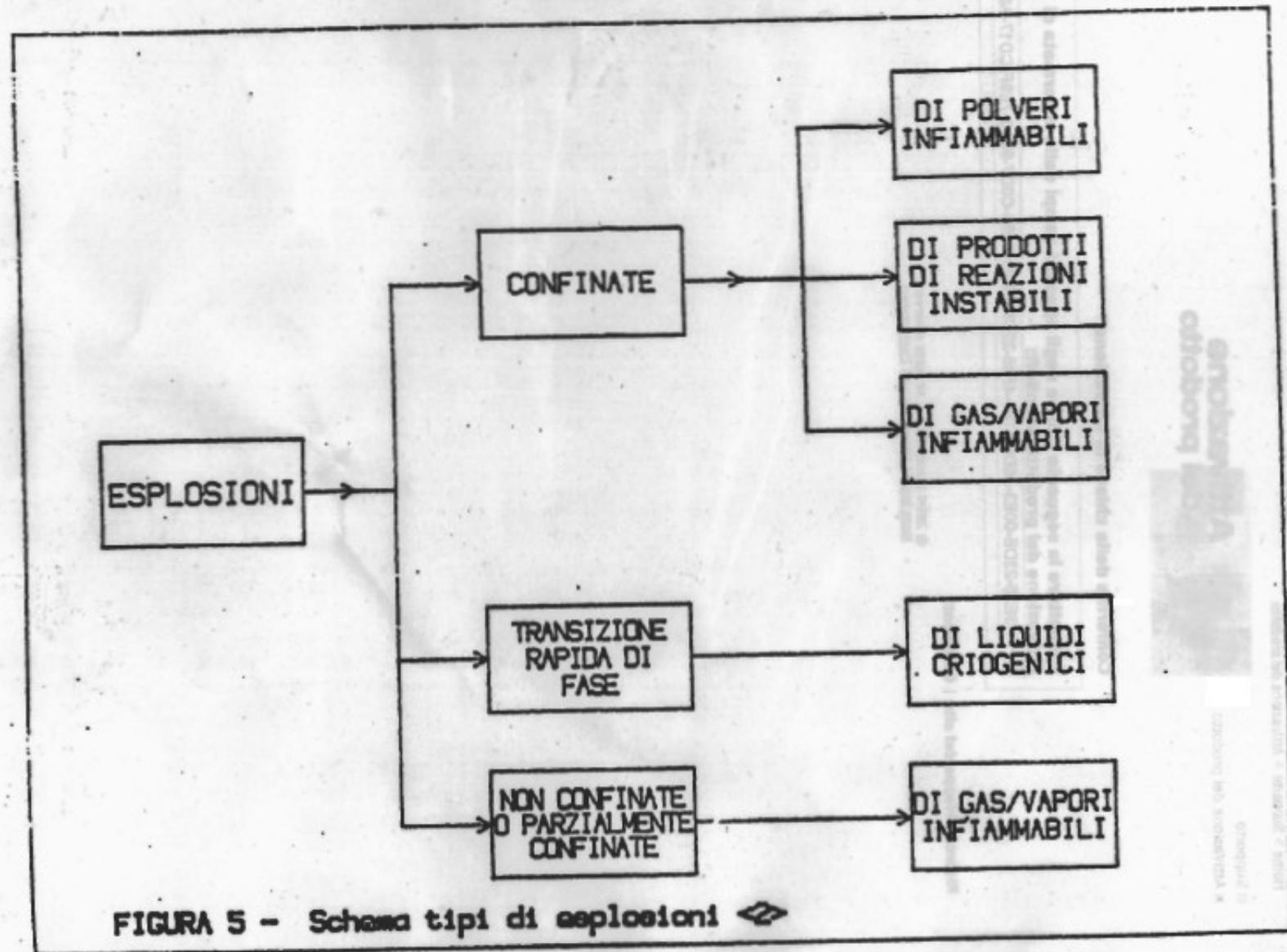


FIGURA 5 - Schema tipi di esplosioni

COMBUSTIONE

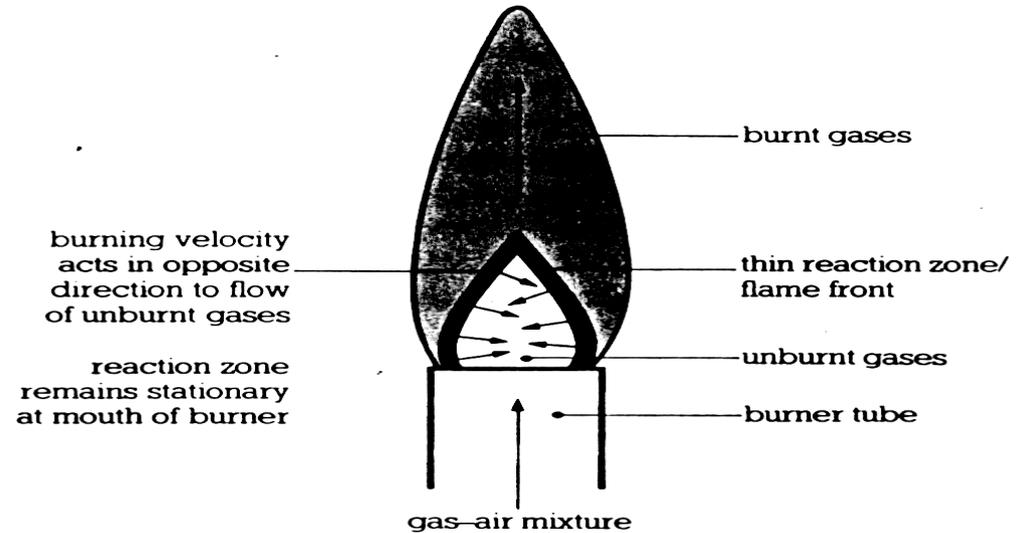
***LA COMBUSTIONE E' UN PROCESSO CHIMICO DI
OSSIDAZIONE DI UN COMBUSTIBILE. CIOE' UNA
REAZIONE DI COMBINAZIONE CON L'OSSIGENO***

***QUALUNQUE SIA LA NATURA DEL COMBUSTIBILE E
DELL'OSSIDANTE, ALLORCHE' ESSI VENGONO A CONTATTO
LA REAZIONE CHE NE DERIVA E' QUASI SEMPRE
ESOTERMICA, SPESSO ANCHE VIOLENTA***

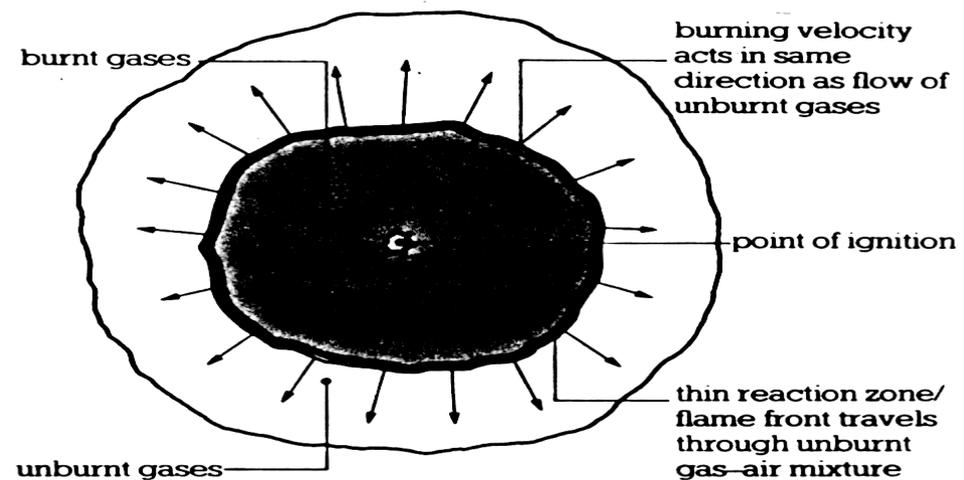
TIPI DI FIAMME

STATIONARY AND PROPAGATING FLAMES

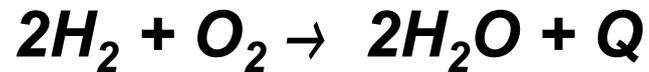
A Stationary pre-mixed flame



B Propagating or explosion flame



REAZIONI CHIMICHE



$$dC_{H_2O}/dt = K C_{H_2}^2 C_{O_2}$$

K = COSTANTE DI VELOCITA' DI UNA REAZIONE

CHANGE IN MOLE NUMBER FOR FUELS BURNING IN AIR			
<i>Reaction</i>	<i>Number of moles</i>		<i>Mole number ratio</i>
	<i>Reactants</i>	<i>Products</i>	
	<i>N_r</i>	<i>N_p</i>	<i>N_p/N_r</i>
$H_2 + 0.5(O_2 + 3.76N_2)$ $= H_2O + 1.88N_2$	3.38	2.88	0.85
$CH_4 + 2(O_2 + 3.76N_2)$ $= 2H_2O + CO_2 + 7.52N_2$	10.52	10.52	1.0
$C_5H_{12} + 8(O_2 + 3.76N_2)$ $= 6H_2O + 5CO_2 + 30.08N_2$	39.08	41.08	1.05

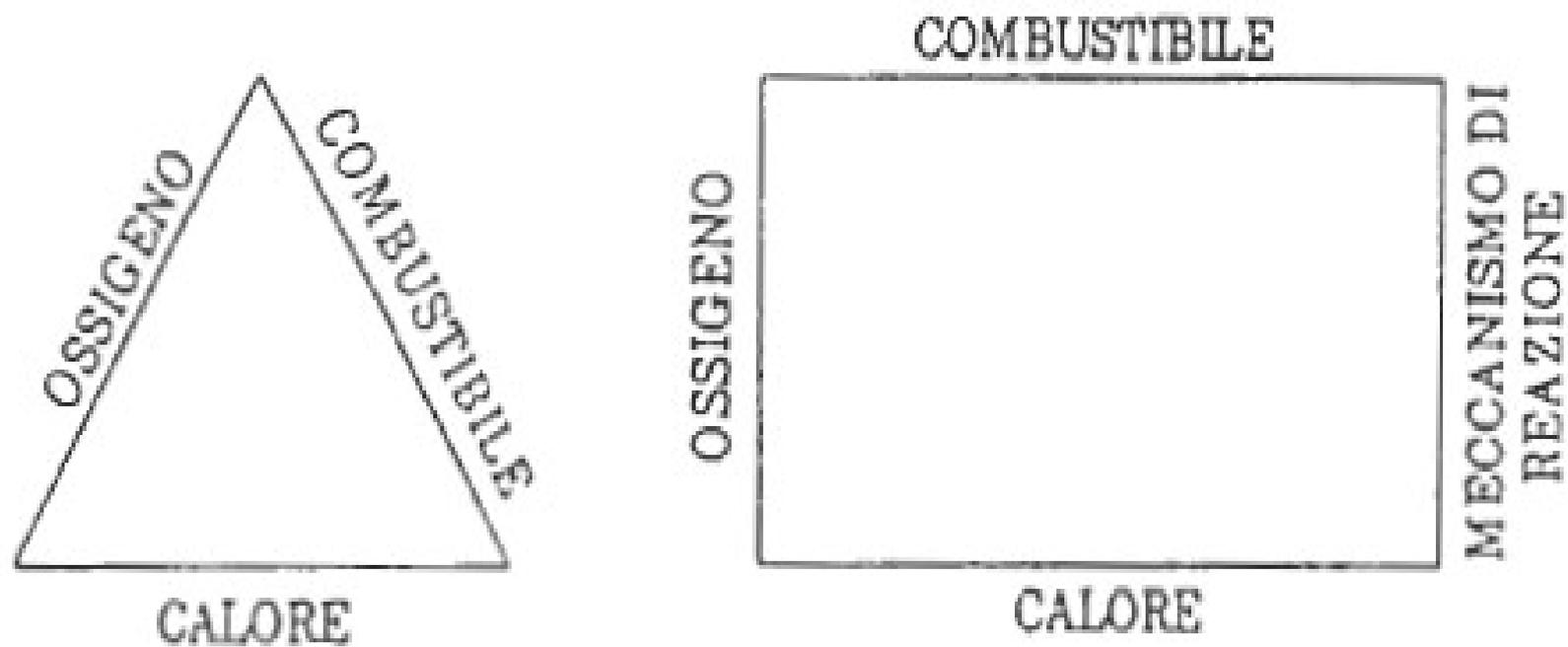


Fig. 7.1. Triangolo e rettangolo dell'incendio.

INFIAMMABILITA'

***AFFINCHE' IN UNA MISCELA POSSA AVVENIRE LA
COMBUSTIONE LA CONCENTRAZIONE DEL GAS
NELLA MISCELA DEVE ESSERE DENTRO UN
CERTO INTERVALLO***

***DETTO INTERVALLO E' LIMITATO DA DUE VALORI
ESTREMI DETTI:***

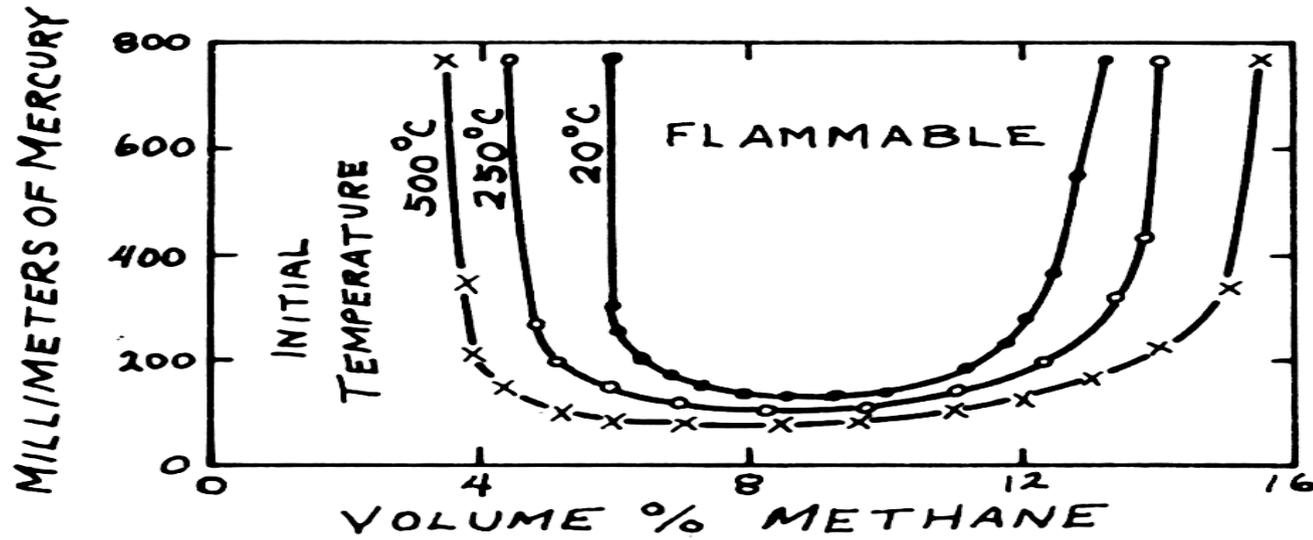
***LIMITE DI INFIAMMABILITA' INFERIORE* (eccesso di
aria)**

***LIMITE DI INFIAMMABILITA' SUPERIORE* (eccesso
di combustibile)**

***I VALORI NUMERICI SONO LIMITI SPERIMENTALI E
NON TEORICI***

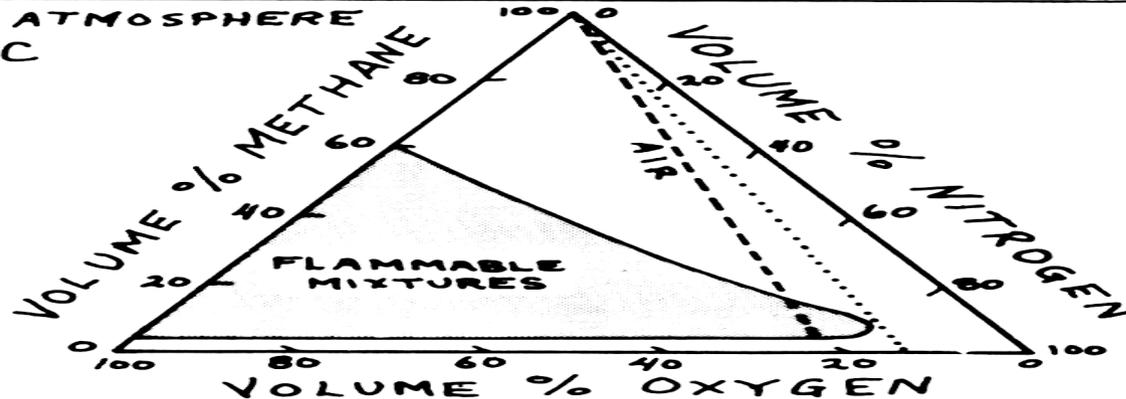
INFIAMMABILITA' (cont.)

INFLUENCE OF PRESSURE & TEMPERATURE
ON FLAMMABILITY OF METHANE IN AIR



METHANE - OXYGEN - NITROGEN
SYSTEM FLAMMABILITY DIAGRAM

ONE ATMOSPHERE
26°C



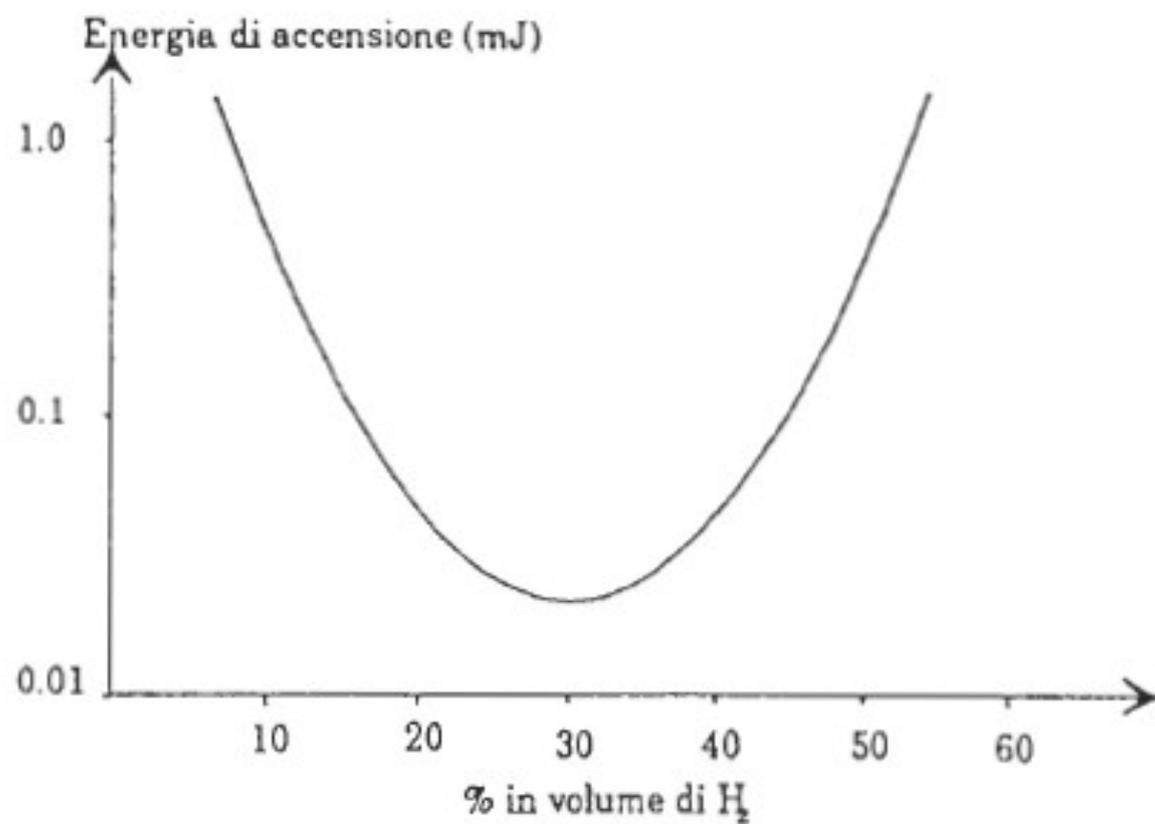


Fig. 7.6. Variazione dell'energia di accensione di una miscela $O_2 - H_2$ con diversi contenuti di idrogeno

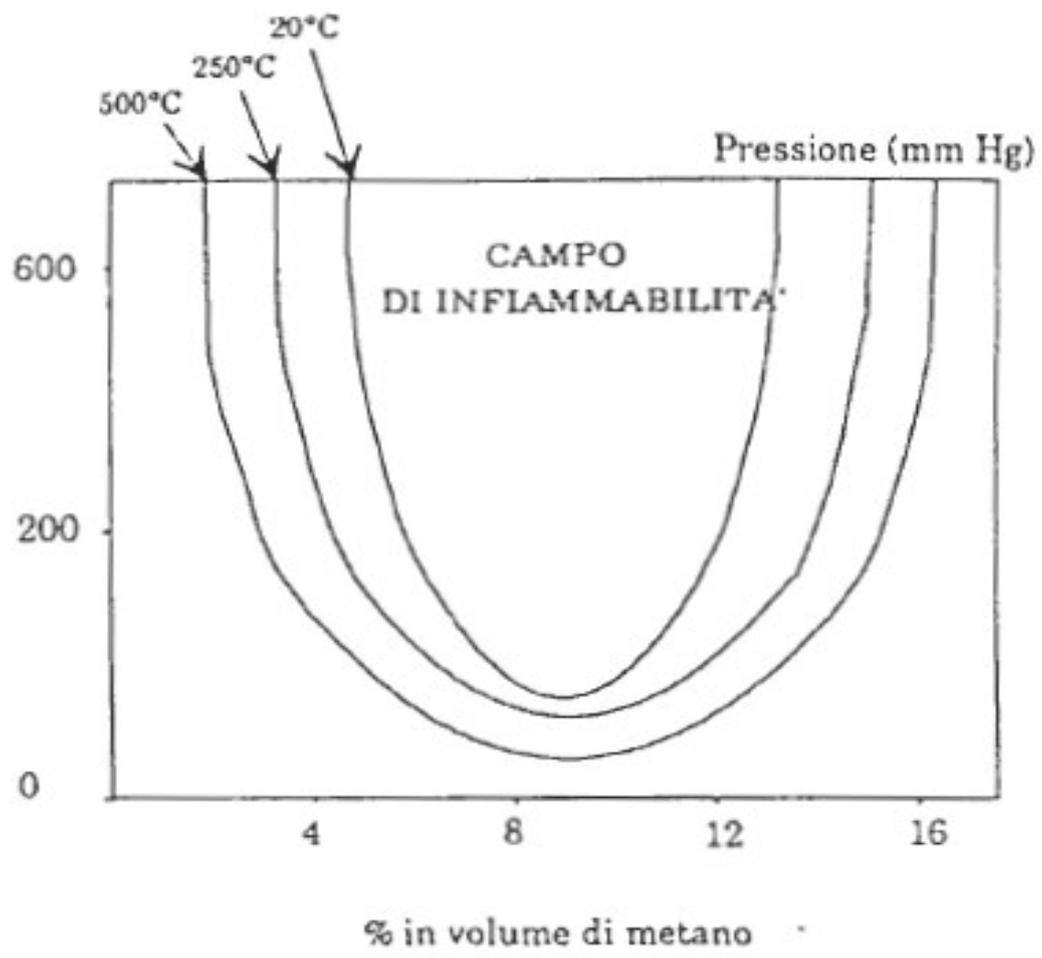


Fig. 7.12. Limiti di esplosività per miscela metano - aria.
 Rapporto stechiometrico di combustione
 9.4% in volume

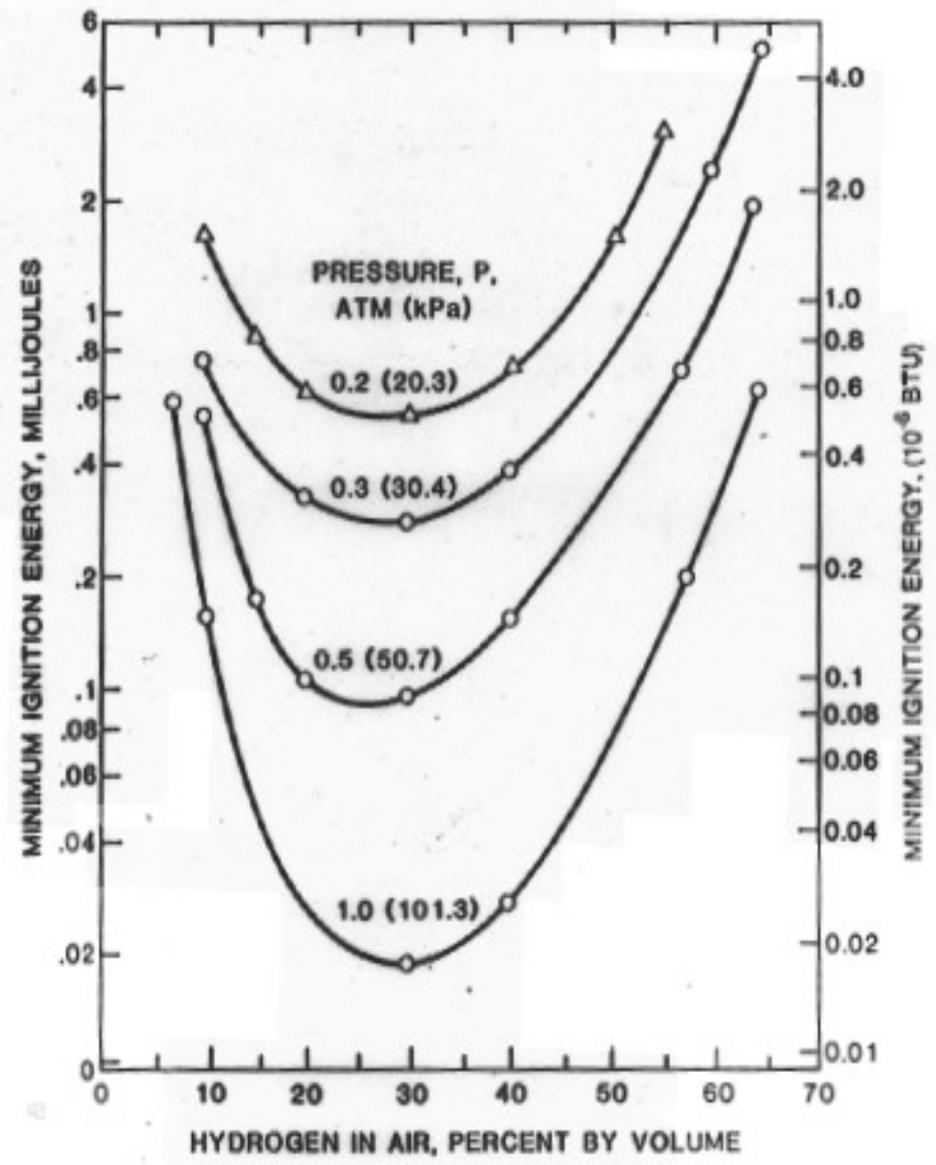


Figure 2-18. Spark Ignition Energies For Dry Hydrogen: Air Mixtures

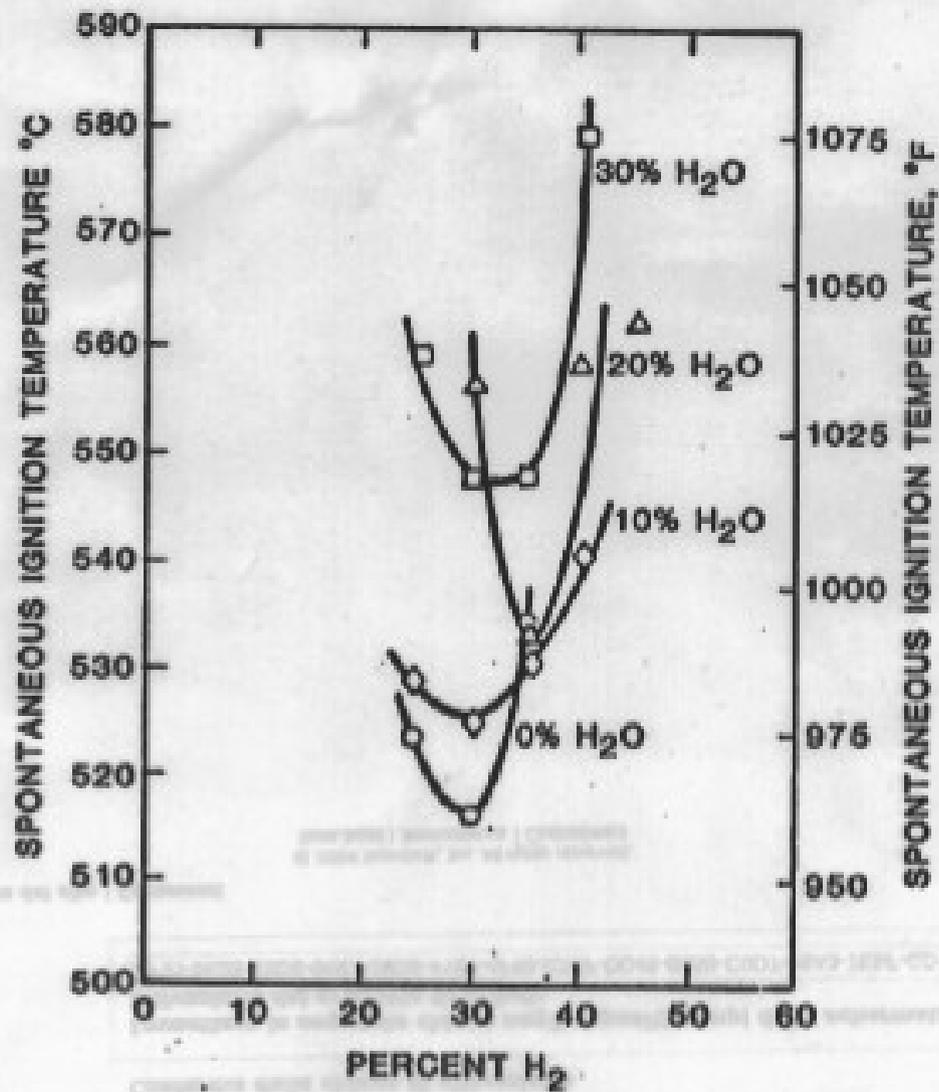


Figure 2-21. Minimum Spontaneous Ignition Temperature of Hydrogen:Air:Steam Mixtures

Effetto dell'ossigeno sull'energia minima di attivazione

Energia minima di ignizione (mJ)

$$1 \text{ mJ} = 2.39 \times 10^{-4} \text{ cal}$$

Sostanza	In aria	In ossigeno
Acetone	1,15	0,0024
Acetilene	0,017	0,0002
n-Butano	0,25	0,009
Ciclopropano	0,18	0,001
Etano	0,25	0,002
Etilene	0,07	0,001
n-Esano	0,288	0,006
Idrogeno	0,017	0,0012
Metano	0,30	0,003

Alcune possibili sorgenti di ignizione

(Fonte UNI 1127-1:2001)

1. SUPERFICI CALDE

Radiatori, essiccatoi, tubi radianti, lampadine, ecc.

Processi meccanici/lavorazioni che producono alte temperature

Sistemi di protezione e componenti che convertono energia meccanica in calore (innesti a frizione)

Parti mobili con cuscinetti, passaggi d'albero, premistoppa, ecc. per mancanza di lubrificazione

Corpi estranei in alloggiamenti di tenuta per parti mobili

Spostamenti di asse in macchinari

Reazioni chimiche (es. con lubrificanti o sostanze per pulizia)

Presenza di strati di polvere su superfici calde di macchine

2. FIAMME/GAS CALDI (INCLUSE PARTICELLE CALDE)

Lavori a caldo (saldatura, taglio, ecc.)

3. SCINTILLE DI ORIGINE MECCANICA

Attriti

Urti

Abrasione

Ingresso di materiali estranei negli apparecchi

Urti di ruggine e metalli leggeri

Urti di metalli leggeri (zirconio, titanio, ecc.)

4. MATERIALE ELETTRICO

Apertura/chiusura circuiti elettrici

Connessioni allentate

Alcune possibili sorgenti di ignizione

(Fonte UNI 1127-1:2001)

5. CORRENTI ELETTRICHE VAGANTI, PROTEZIONE CONTRO LA CORROSIONE CATODICA

Correnti di ritorno dai generatori di potenza

Cortocircuiti o dispersive a terra a seguito di guasti

Induzione magnetica

Protezione contro la corrosione catodica con corrente applicata

6. ELETTRICITÀ STATICA

Pellicole che si muovono su rulli

Cinghie di trasmissione

Associazione di materiali conduttori non conduttori

Scariche a cono da materiale sfuso

Scariche da nube

Elettricità statica derivante dagli indumenti, calzature, ecc.

7. FULMINE

Colpo diretto

Scintille da impatto di fulmine

Induzione di alte tensioni a seguito di temporali

8. ONDE ELETTROMAGNETICHE A RADIO FREQUENZA

Radiotrasmittitori, telefoni cellulari

Generatori di radiofrequenze per uso medico o generatori RF industriali per riscaldamento, essiccazione, tempra, saldatura, ecc.

Alcune possibili sorgenti di ignizione

(Fonte UNI 1127-1:2001)

9. ONDE ELETTROMAGNETICHE

Raggi solari fatti convergere da lenti, ecc.

Sorgenti luminose intense (continue o intermittenti) e polveri

Radiazioni laser

10. RADIAZIONI IONIZZANTI

Tubi per raggi X

Sostanze radioattive

Decomposizione chimica con generazione di radicali attivi o composti instabili

11. ULTRASUONI

Energia trasmessa dal trasduttore elettroacustico

12. COMPRESSIONE ADIABATICA E ONDE D'URTO

Fuoriuscita di gas ad alta pressione nei condotti

Compressioni adiabatiche o quasi adiabatiche

Sistemi con gas altamente ossidanti (es. ossigeno) e compressioni adiabatiche, onde d'urto e/o scorrimento puro

Alcune possibili sorgenti di ignizione

(Fonte UNI 1127-1:2001)

13. REAZIONI ESOTERMICHE, INCLUSA L'AUTOACCENSIONE DELLE POLVERI

Sostanze piroforiche con aria

Metalli alcalini con acqua

Autoaccensione di polveri combustibili

Autoriscaldamento dei mangimi indotto da processi biologici

Decomposizione di perossidi organici

Polimerizzazione

Utilizzo di catalizzatori (es. atmosfere di idrogeno/aria e platino)

Associazioni di materiali: alluminio e ruggine

Associazioni di materiali: rame ed acetilene

Associazioni di materiali: metalli pesanti e perossido di idrogeno

Table 1.3 TYPICAL COMBUSTION PROPERTIES OF SOME HYDROCARBON GASES AND HYDROGEN IN AIR

Fuel	Molecular weight	A Flammability limits % v/v gas		% Gas at stoichiometric ratio	B % Gas at maximum burning velocity		B Maximum laminar burning velocity S_L (m/s)
		Lower	Upper				
Hydrogen H_2	2	4	75	30	54	3.5	
Methane CH_4	16	5	15	9.5	10	0.45	
Ethane C_2H_6	30	3	12.5	5.6	6.3	0.53	
Propane C_3H_8	44	2.2	9.5	4.0	4.5	0.52	
Butane C_4H_{10}	58	1.9	8.5	3.1	3.5	0.50	
Pentane C_5H_{12}	72	1.5	7.8	2.6	2.9	0.52	
Hexane C_6H_{14}	86	1.2	7.5	2.2	2.5	0.52	
Heptane C_7H_{16}	100	1.2	6.7	1.9	2.3	0.52	
Acetylene C_2H_2	26	2.5	80	7.7	9.3	1.58	
Ethylene C_2H_4	28	3.1	32	6.5	7.4	0.83	
Propylene C_3H_6	42	2.4	10.3	4.4	5.0	0.66	
Butylene C_4H_8	56	1.7	9.5	3.4	3.9	0.57	
Benzene C_6H_6	78	1.4	7.1	2.7	3.3	0.62	
Cyclohexane C_6H_{12}	84	1.3	8.0	2.3	2.7	0.52	

A From Coward and Jones¹

B Value for H_2 from Rose and Cooper². Value for C_2H_2 as recommended by Andrews and Bradley³

Other values based on comparative data from Gerstein *et al.*⁴ which have been corrected in line with a currently accepted value of 0.45 m/s for methane-air - See Andrews and Bradley³

C Values marked by * from Lewis and Von Elbe¹, other values from Perry and Chilton⁵

C Adiabatic flame temperature T_f, K	D Expansion ratio T_f/T_i ($T_i = 288K$)	E Maximum laminar flame speed (m/s)	F Auto-ignition temperature K	G Minimum ignition energy, millijoules	H Net calorific value (288K, 1 atm) MJ/m^3	I Fuel
2318*	8.0	28.0	847	0.02	10.2	Hydrogen H_2
2148*	7.4	3.5	813	0.29	34	Methane CH_4
2168*	7.5	4.0	788	0.24	60.5	Ethane C_2H_6
2198*	7.6	4.0	723	0.25	86.4	Propane C_3H_8
2168*	7.5	3.7	678	0.25	112.4	Butane C_4H_{10}
2232	7.7	4.0	533	0.25	138.1	Pentane C_5H_{12}
2221	7.7	4.0	498	0.25	164.4	Hexane C_6H_{14}
2196	7.6	4.0	488	0.25	190.4	Heptane C_7H_{16}
2598*	9.0	14.2	578	0.02	51	Acetylene C_2H_2
2248*	7.8	6.5	763	0.12	58	Ethylene C_2H_4
2208*	7.7	5.1	733	0.28	81.5	Propylene C_3H_6
2203*	7.8	4.3	688	0.28	107.1	Butylene C_4H_8
2287	7.9	4.9	633	0.22	134	Benzene C_6H_6
2232	7.8	4.1	518	0.24	167.3	Cyclohexane C_6H_{12}

D Assumes $S_L = S_L(T_f/T_i)$ - See Section 1.3.3

E Value for Hydrogen from Perry and Chilton⁵ - all others from Zabetakis⁶

F Values from Lewis and Von Elbe¹. Values represent minimum energy stored in test circuit prior to spark discharge

G Values from Rose and Cooper²