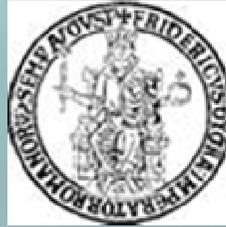


**UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI NAPOLI FEDERICO II**



**FACOLTÀ DI INGEGNERIA  
CORSO DI LAUREA IN  
INGEGNERIA PER L'AMBIENTE E IL TERRITORIO**

**TESI DI LAUREA  
METODOLOGIE PER LA DETERMINAZIONE DELLE ZONE DI  
INFIAMMABILITÀ DI COMBUSTIBILI GASSOSI**

candidato

**Chiara Tommasino**

**Andreozzi**

**matr. 518/644**

relatore

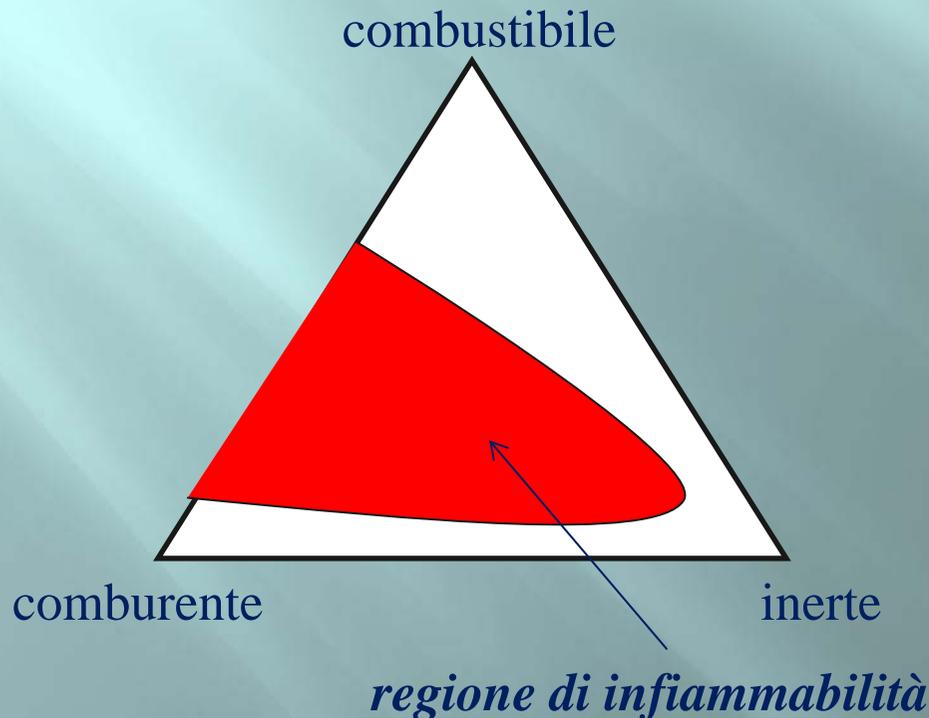
**Ch.mo prof. Roberto**

**ANNO ACCADEMICO 2009 / 2010**

Si definisce **infiammabilità o esplosività** la capacità di una sostanza di essere ossidata, dando origine al fenomeno della combustione e liberando grandi quantità di energia

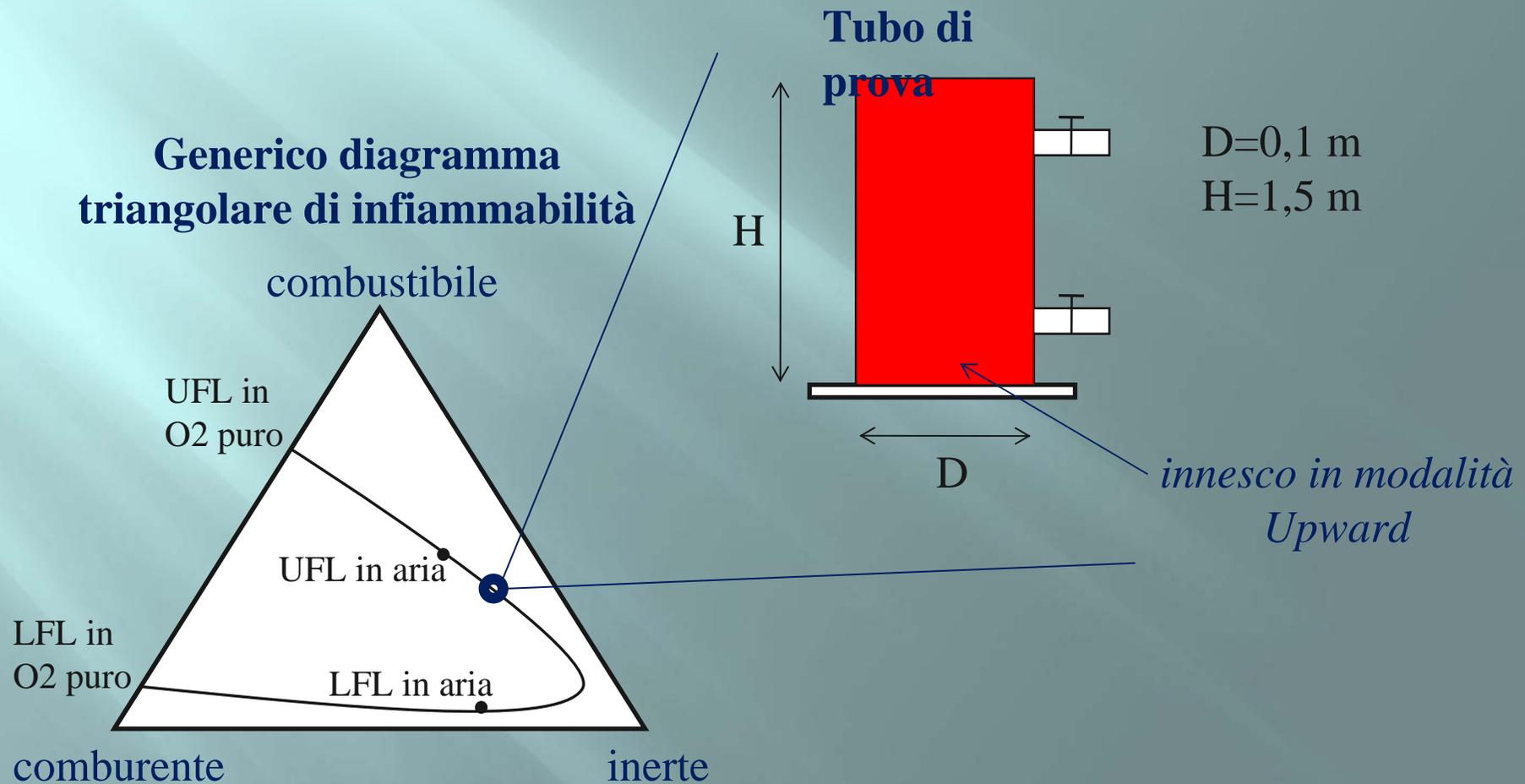
Il dominio di infiammabilità di una qualsiasi sostanza può essere rappresentato sfruttando un **diagramma di tipo triangolare**, nel quale è possibile individuare una **regione di infiammabilità** al variare delle concentrazioni dei componenti puri: combustibile, comburente ed inerte.

### **Diagramma triangolare di infiammabilità:**



Da cui la necessità, ai fini della sicurezza, di conoscere in modo dettagliato il diagramma di infiammabilità per ciascuna sostanza.

E' possibile costruire punto per punto il diagramma di infiammabilità per un qualsiasi combustibile attraverso **misure sperimentali**, con l'impiego di un **tubo di prova**.



Determinare il diagramma triangolare di infiammabilità per ciascuna sostanza attraverso **misure sperimentali** richiede:

- un notevole dispendio in termini di tempo
- impiego di ingenti risorse economiche

Le **informazioni fornite dai diagrammi triangolari di infiammabilità** sono **indispensabili** per le aziende ai fini della sicurezza nella manipolazione di miscele di combustibili generici.

Nasce l'esigenza di investigare **metodi alternativi di tipo non sperimentale** al fine di determinare il diagramma triangolare di un generico combustibile a partire dalle conoscenze delle proprietà chimico-fisiche del medesimo.

## **OBIETTIVO DELLA TESI**

**L'obiettivo della presente tesi è acquisire una metodologia che consenta di individuare in maniera affidabile la regione di infiammabilità per un sistema ternario: combustibile , ossigeno, azoto.**

# CRITERI PROPOSTI

Adotteremo i seguenti **tre criteri** al fine di verificare la loro attendibilità, applicandoli a combustibili gassosi ampiamente impiegati a livello industriale:

1. Valore soglia della temperatura adiabatica di fiamma pari al relativo valore in corrispondenza dei limiti di infiammabilità del combustibile in aria
2. Valore soglia della temperatura adiabatica di fiamma pari a  $1200^{\circ}\text{K}$
3. Costruzione grafica approssimata a partire da 5 punti noti del diagramma di infiammabilità.

I primi due criteri sono **di tipo termico** ed adottano differenti valori di soglia della temperatura adiabatica di fiamma.

*E' importante sottolineare che, nel determinare ogni punto del diagramma di infiammabilità, abbiamo considerato per ciascun criterio termico un'approssimazione massima della temperatura adiabatica di fiamma di  $50^{\circ}\text{K}$  rispetto al valore fissato.*

L'ultimo criterio è di **tipo grafico** e ricostruisce in modo approssimativo la regione di infiammabilità.

Una grandezza importante per effettuare considerazioni di tipo termico per le reazioni di combustione è la **temperatura adiabatica di fiamma**.

Si definisce temperatura adiabatica di fiamma **la temperatura raggiunta dal sistema alla fine della reazione di combustione nell'ipotesi che siano impediti scambi di energia con l'ambiente esterno**.

Distinguiamo due tipologie di temperatura adiabatica di fiamma:

- a pressione costante
- a volume costante

Nei calcoli effettuati abbiamo fatto riferimento a valori della temperatura adiabatica di fiamma calcolati **a pressione costante**.

Per la determinazione del valore della temperatura adiabatica di fiamma si è utilizzato uno degli innumerevoli programmi di calcolo disponibili, quale **Gaseq** (scaricabile dal sito [www.c.morley.dsl.pipex.com](http://www.c.morley.dsl.pipex.com)).

**Gaseq** è un programma MS Windows-based con una interfaccia di MS Excel. E' utilizzabile per effettuare calcoli di equilibrio relativi ad un processo di combustione, **fissate le condizioni iniziali del sistema.**

### INTERFACCIA GRAFICA DEL PROGRAMMA GASEQ

The screenshot shows the Gaseq software interface with the following components:

- Menu Bar:** File, Edit, Units, StdProblems, Mixtures, Constraints, Help.
- Problem Type:** A dropdown menu set to "Adiabatic T and composition at const P".
- Input File Page Title:** A text input field with "Previous" and "Next" buttons.
- Reactants Table:**

Species	No.Moles	MolFrac	K
N2	0,79000	0,71493	
O2	0,21000	0,19005	
CH4	0,10500	0,09502	
- Products Table:**

Species	No.Moles	MolFrac	K
N2	0,78890	0,70866	
H2O	0,20410	0,18334	
CO2	0,09503	0,08536	
CO	0,00997	0,00896	
O2	0,00508	4,56e-03	
OH	0,00325	2,92e-03	
H	4,340e-04	3,90e-04	
O	2,371e-04	2,13e-04	
H2	0,00403	3,62e-03	
NO	0,00220	1,98e-03	
- Control Buttons:** View Species, Add, Delete, Clear Reacts, Clear Prods, Clear All, R>>P, R<<P.
- Stoichiometry, Phi:** 1,000. **Set..** **UniformT**
- Calculate (F10)** button.
- Results Summary:**

Parameter	Reactants	Products
Temperature, K	300,	2226, ←
Pressure, atm	1,0	1,0
Volume Products/Reactants		7,4753
Moles Products/Reactants		1,00745

Annotations in the image:

- tipo di trasformazione* (type of transformation) pointing to the Problem Type dropdown.
- reagenti* (reagents) pointing to the Reactants table.
- numero moli dei reagenti* (number of moles of reagents) pointing to the No.Moles column in the Reactants table.
- temperatura adiabatica di fiamma* (adiabatic flame temperature) pointing to the Temperature, K result in the Products table.

## COMBUSTIBILI SCELTI

- **METANO**

1° criterio e 2° criterio - Imposizione di un valore soglia per la temperatura adiabatica fiamma

3° criterio - Costruzione grafica a partire da 5 punti

- **PROPANO**

1° criterio e 2° criterio - Imposizione di un valore soglia per la temperatura adiabatica fiamma

3° criterio - Costruzione grafica a partire da 5 punti

- **IDROGENO**

1° criterio e 2° criterio - Imposizione di un valore soglia per la temperatura adiabatica fiamma

3° criterio - Costruzione grafica a partire da 5 punti

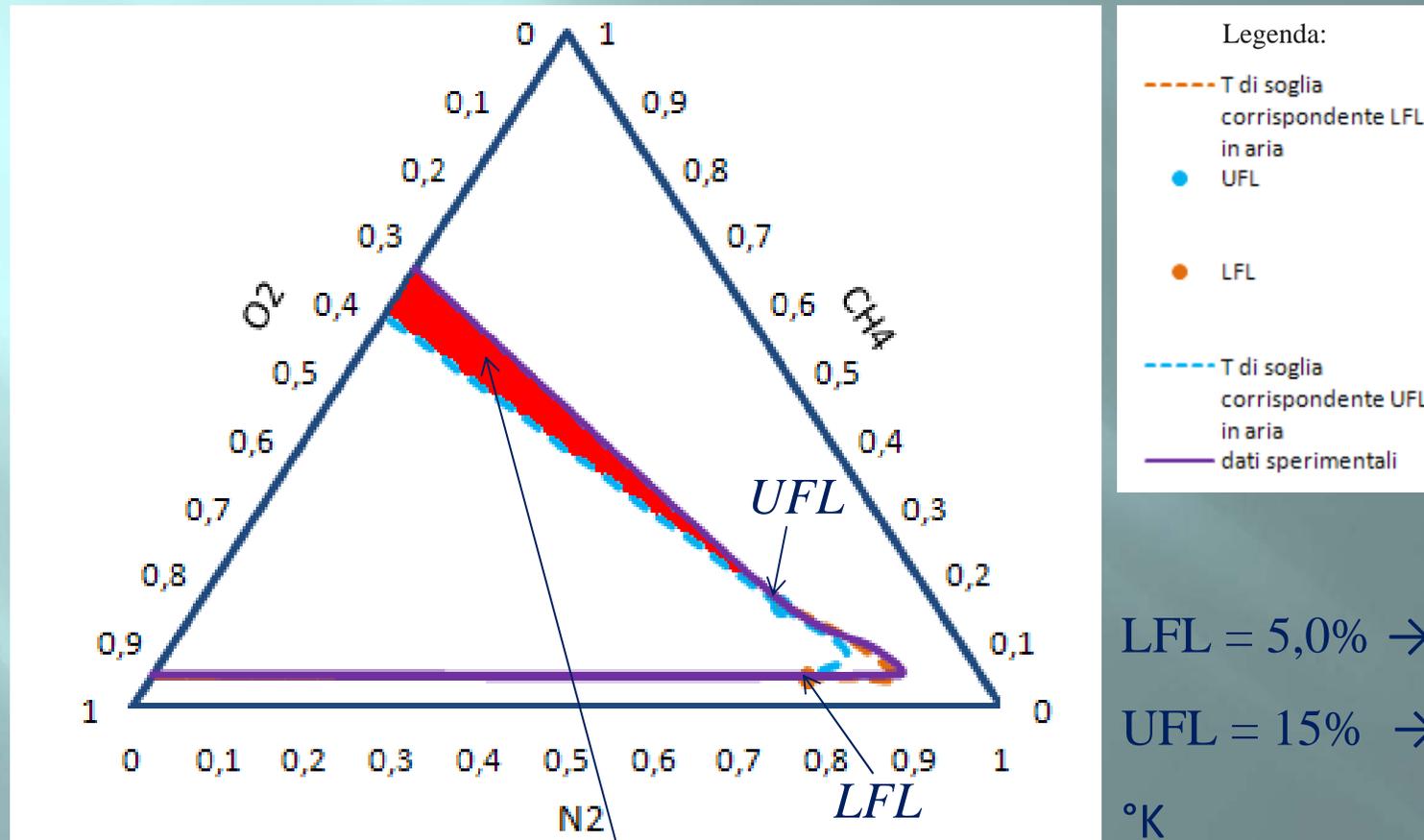
- **ETILENE**

3° criterio - Costruzione grafica a partire da 5 punti

Applichiamo i 3 criteri esposti ai suddetti combustibili gassosi.

## METANO

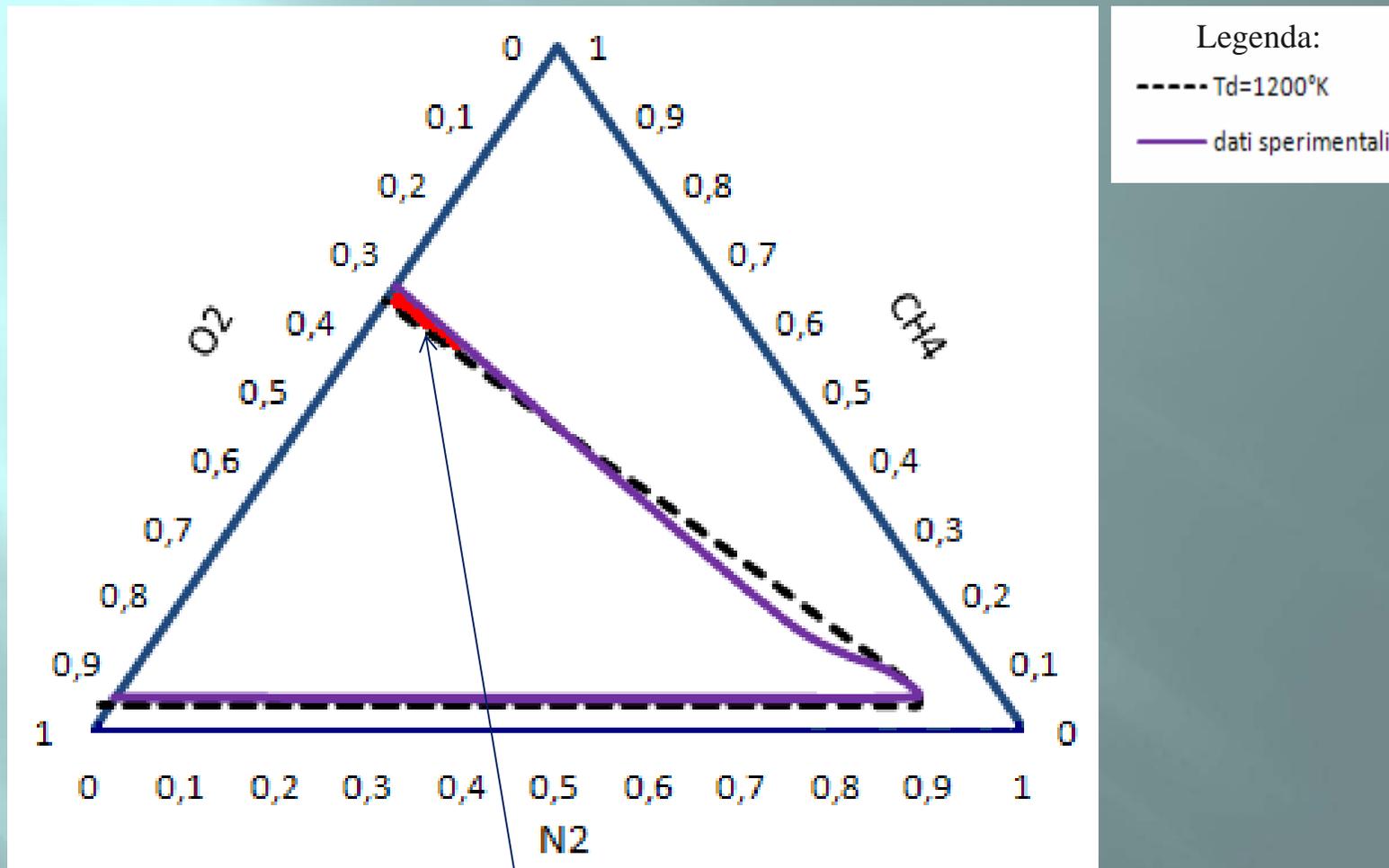
1° criterio - Temperatura adiabatica di fiamma di soglia posta pari alla medesima calcolata in corrispondenza dell'LFL ed UFL



*Tale criterio è a svantaggio di sicurezza per il metano*

# METANO

2° criterio - Temperatura adiabatica di fiamma di soglia posta pari a  $1200^{\circ}\text{K}$

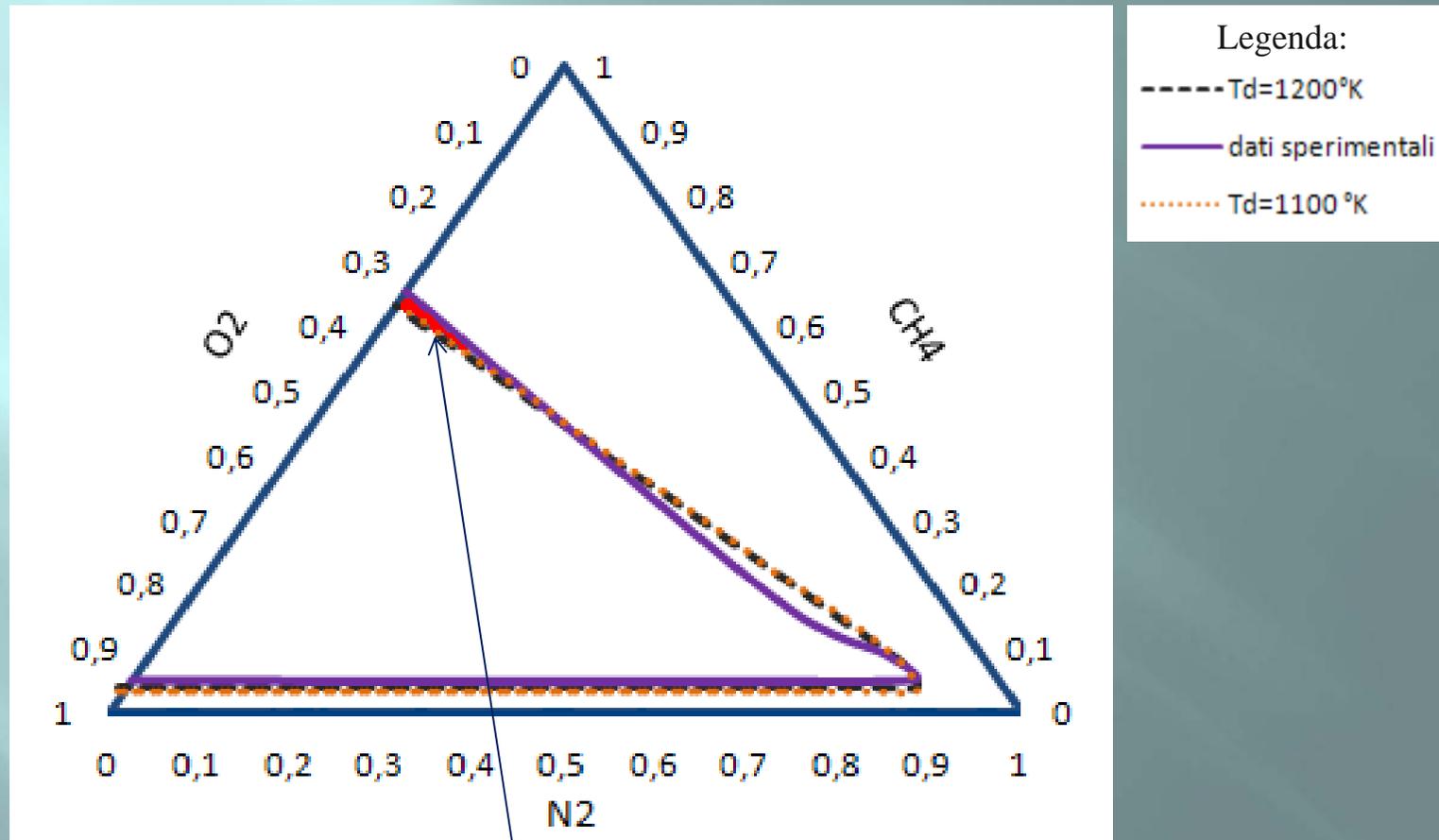


Tale criterio non rispecchia la regione di infiammabilità per elevate concentrazioni del combustibile nel caso del metano

Supponiamo di adottare il secondo criterio abbassando leggermente il valore della temperatura adiabatica di fiamma per aumentare l'ampiezza della regione di infiammabilità

## METANO

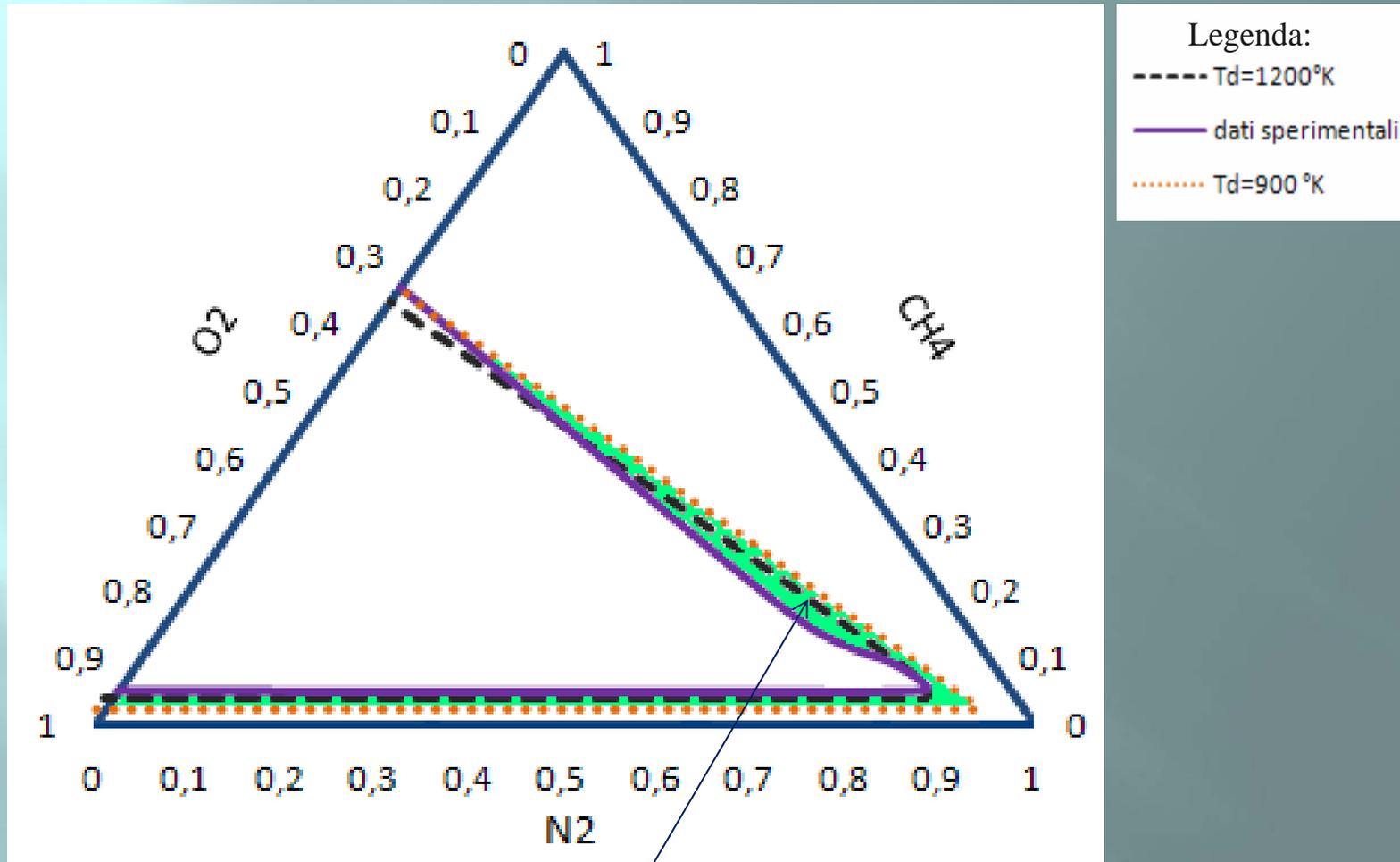
Temperatura adiabatica di fiamma di soglia posta pari a  $1100^{\circ}\text{K}$



*Il risultato si discosta non in modo significativo dal precedente*

# METANO

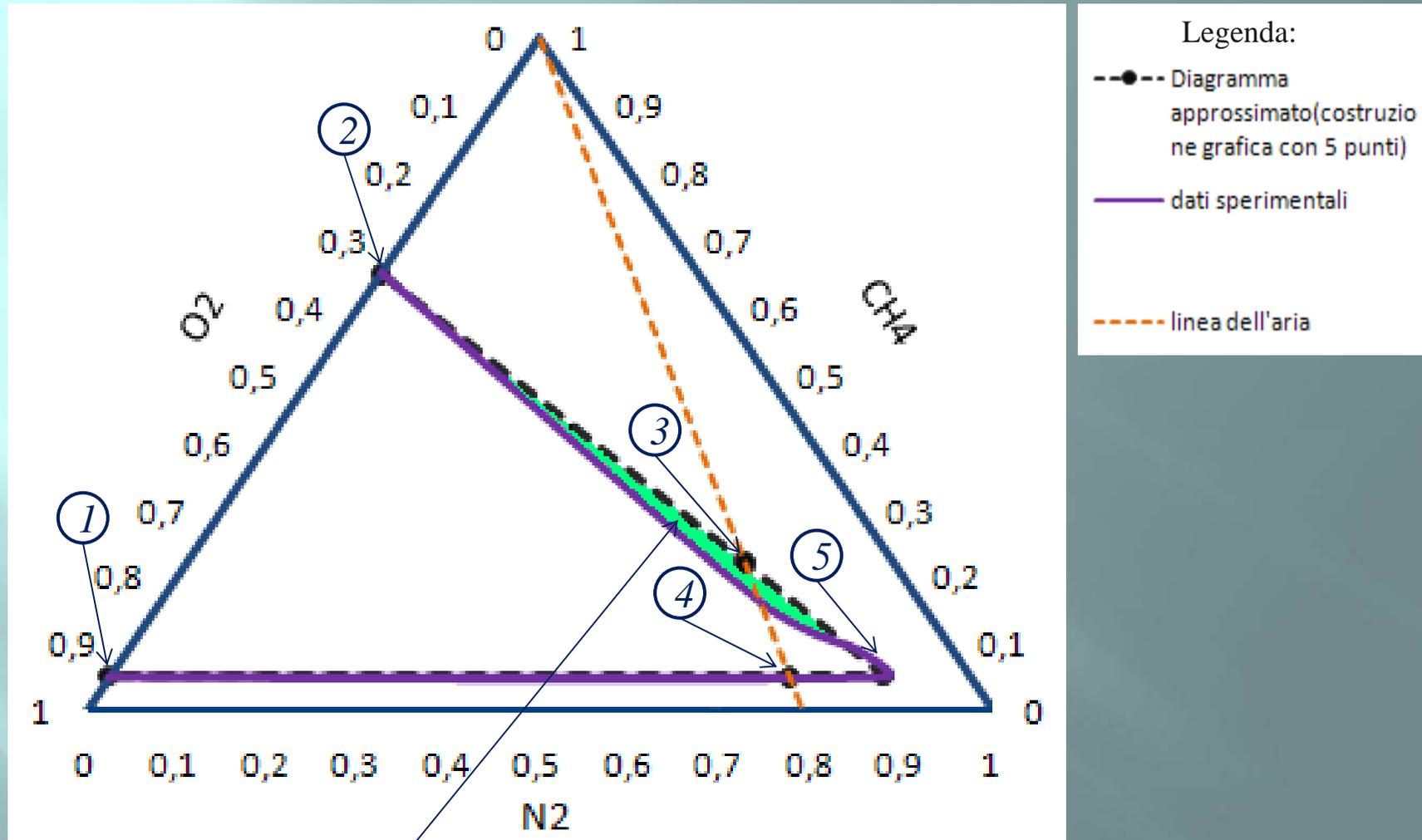
Temperatura adiabatica di fiamma di soglia posta pari a  $900^{\circ}\text{K}$



*Occorre abbassare notevolmente il valore soglia della temperatura adiabatica di fiamma per ottenere un risultato conservativo in termini di sicurezza*

# METANO

## 3° criterio – Costruzione grafica con 5 punti



*L'impiego di un criterio di tipo grafico mostra risultati migliori rispetto ai casi precedenti per il metano*

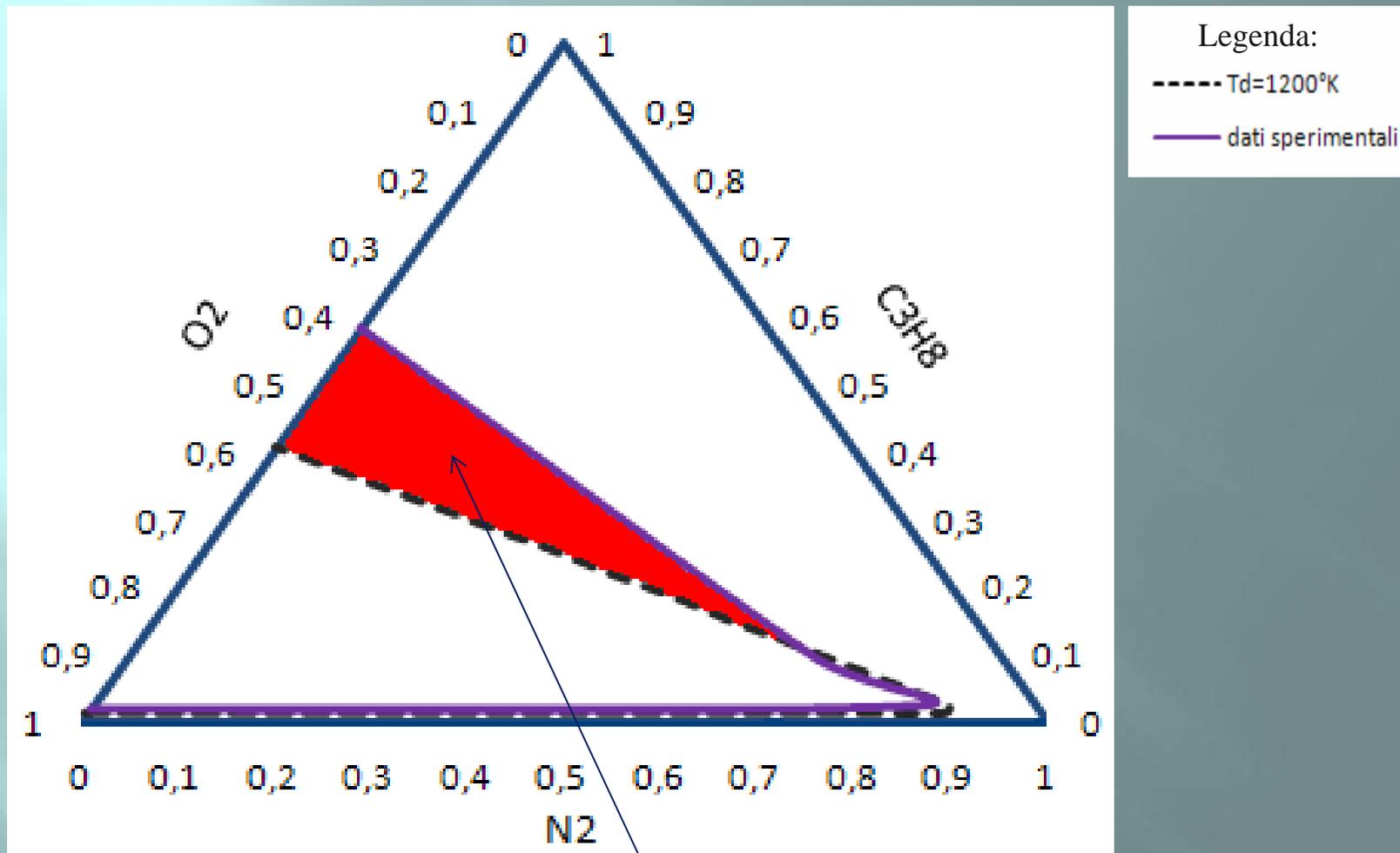
# APPLICAZIONE DEI CRITERI AGLI ALTRI COMBUSTIBILI

Applicando i 3 criteri agli **altri combustibili** quali **propano**, **idrogeno** ed **etilene** abbiamo ottenuto risultati congruenti con quelli determinati nel caso del metano.

L'unica metodologia, tra quelle proposte, affidabile nell'individuazione della regione di infiammabilità è il criterio di tipo grafico

# PROPAN

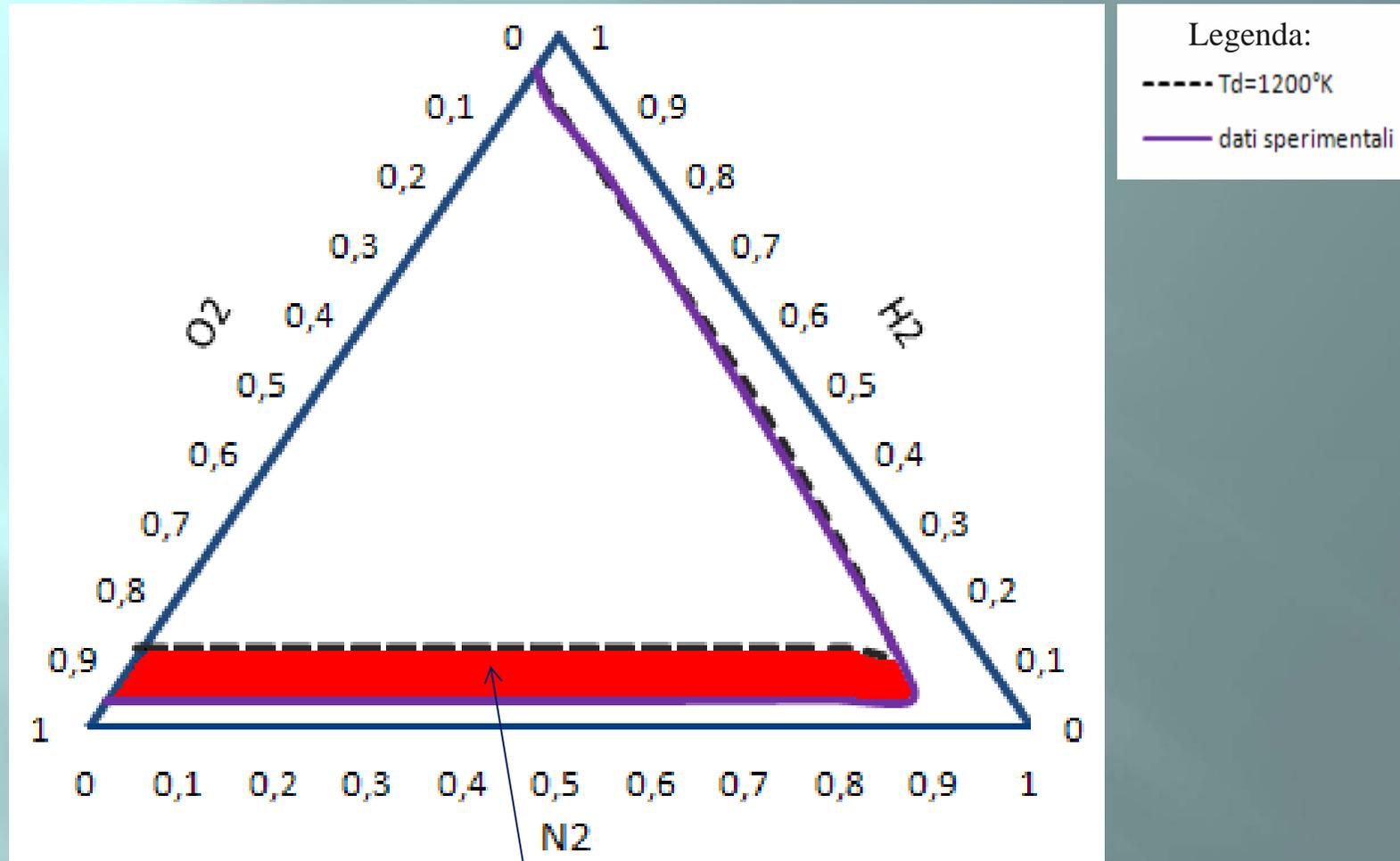
2° criterio - Temperatura adiabatica di fiamma di soglia posta pari a  $1200^{\circ}\text{K}$



*Rispetto al caso del metano, il discostamento tra i risultati ottenuti applicando il criterio ed i dati sperimentali è considerevolmente maggiore per il propano*

# IDROGENO

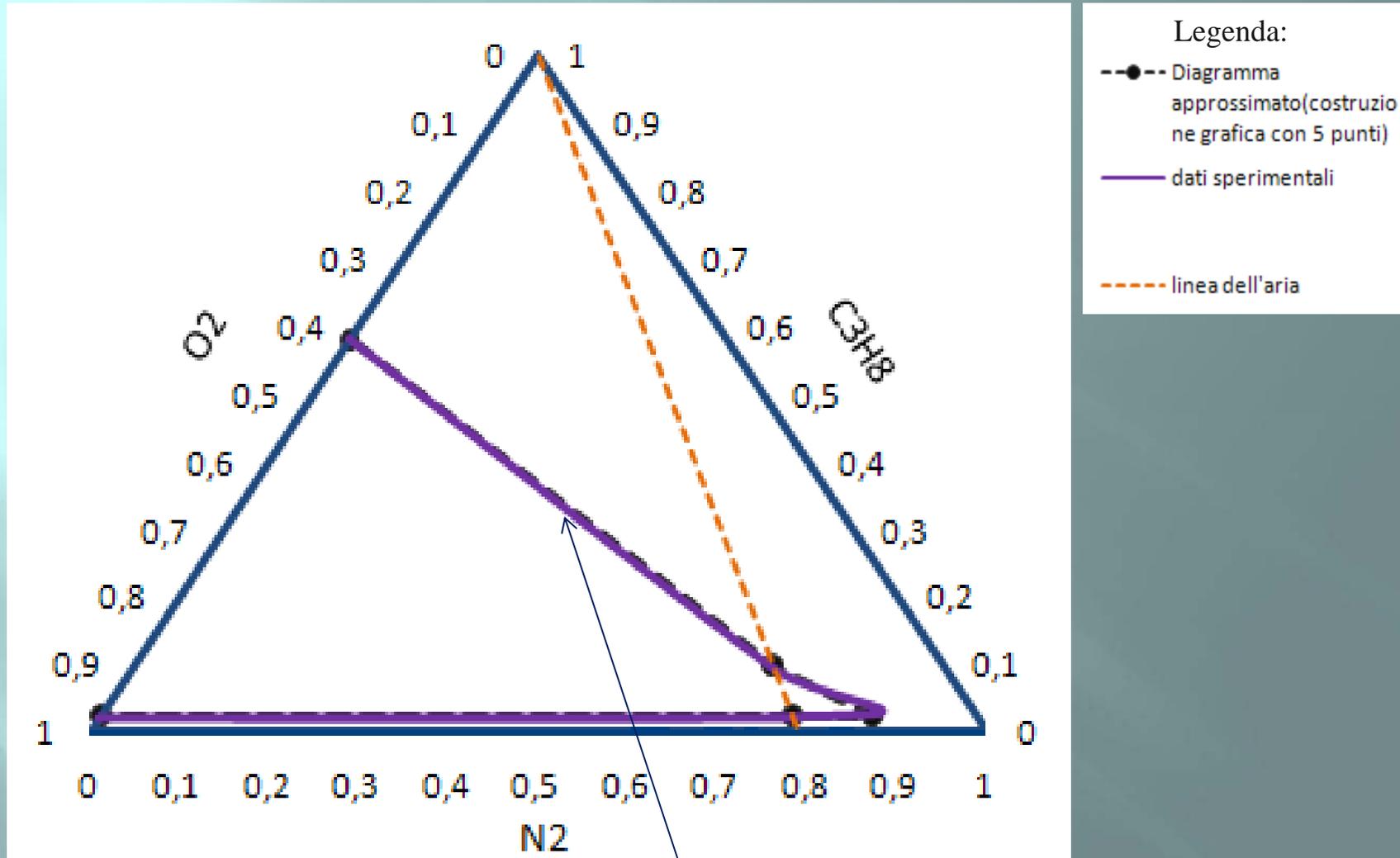
2° criterio - Temperatura adiabatica di fiamma di soglia posta pari a  $1200^{\circ}\text{K}$



*A differenza dei risultati ottenuti per gli idrocarburi, nel caso dell'idrogeno tale criterio non rispecchia in modo conservativo il confine inferiore della regione di infiammabilità*

# PROPAN

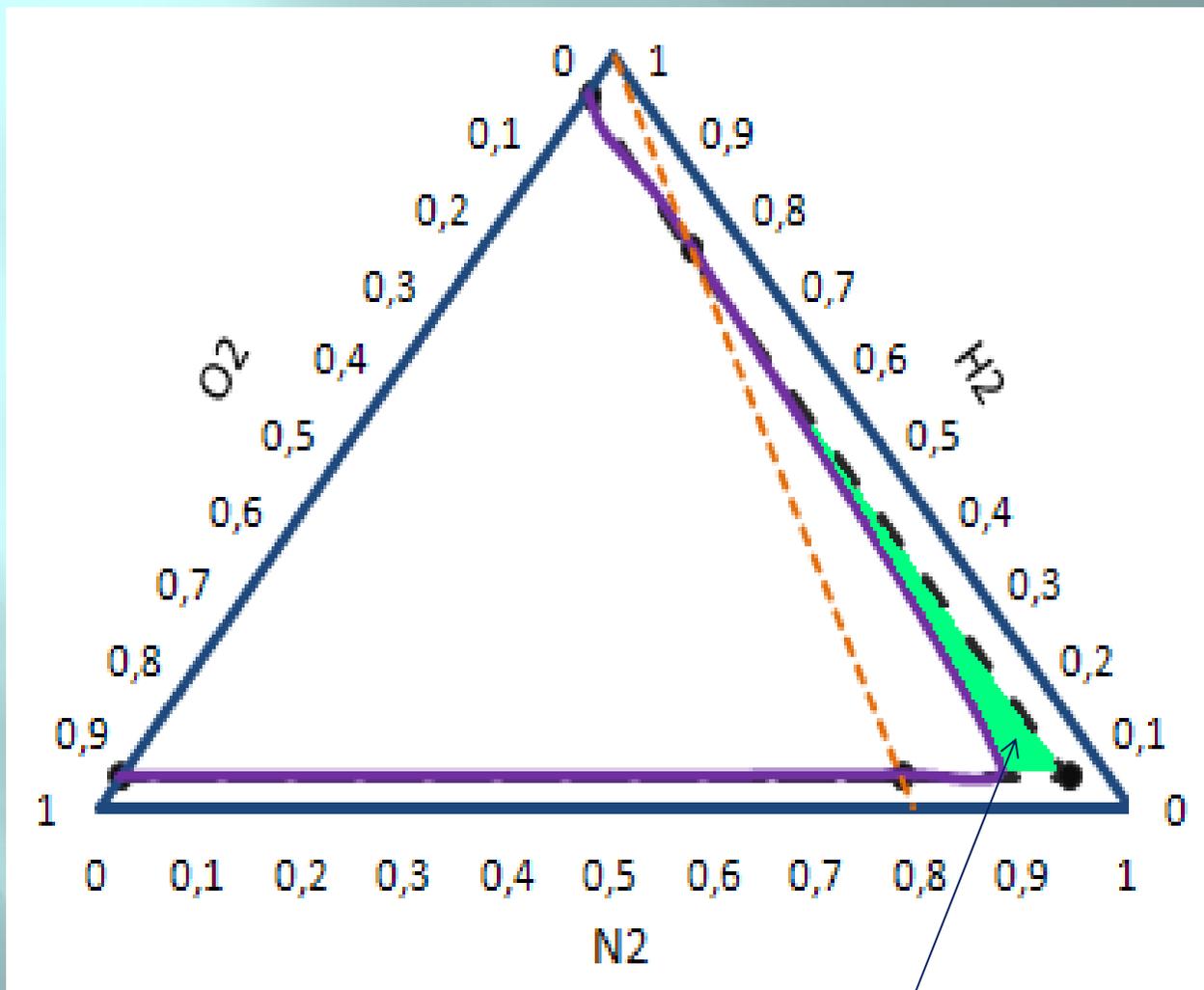
3° criterio – Costruzione grafica con 5 punti



*La costruzione grafica si sovrappone quasi completamente alla curva sperimentale per il propano*

# IDROGENO

## 3° criterio – Costruzione grafica con 5 punti

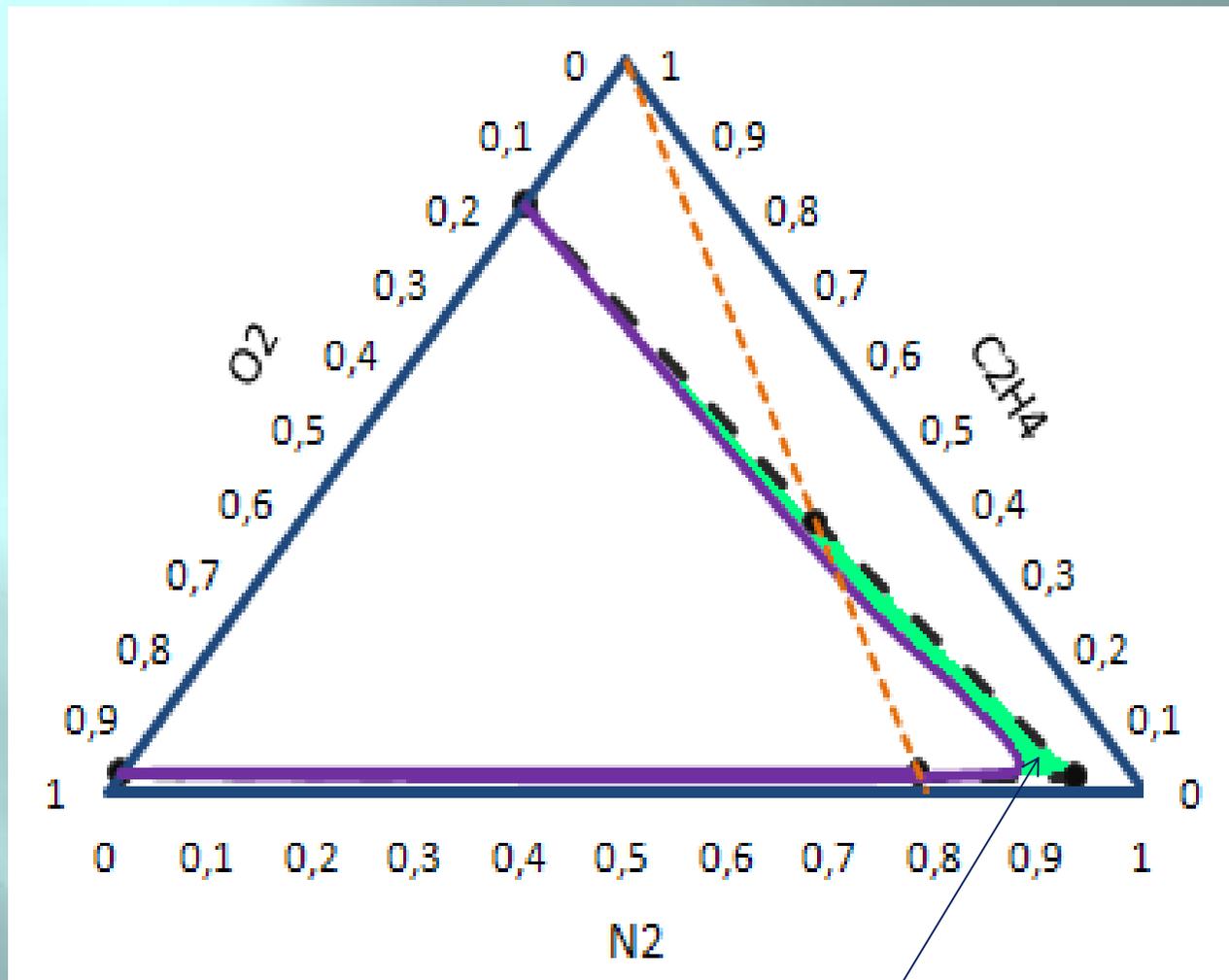


- Legenda:
- ● - Diagramma approssimato (costruzione grafica con 5 punti)
  - dati sperimentali
  - - - linea dell'aria

*La costruzione grafica mostra risultati conservativi per basse concentrazioni di ossigeno nel caso dell'idrogeno*

# ETILENE

## 3° criterio – Costruzione grafica con 5 punti



Legenda:

- ● — Diagramma approssimato (costruzione con 5 punti)
- dati sperimentali
- linea dell'aria

*Anche per l'etilene, il criterio di tipo grafico rispecchia in maniera affidabile la regione di infiammabilità determinata sperimentalmente*

## CONCLUSIONI

- L'adozione di un criterio di tipo termico non dà risultati conservativi, ad eccezione dell'idrogeno, nei casi analizzati
- L'utilizzo della costruzione grafica approssimata è affidabile nell'individuazione della regione di infiammabilità per tutte le specie considerate
- Essa è tra l'altro una metodologia semplice e comporta unicamente la conoscenza di dati in genere disponibili sulla sostanza di interesse