



Dalle particelle alle stalle

Dove LHC e l'allevamento si incontrano nella lotta contro l'effetto serra

Matteo Brunoldi, Simone Calzaferri



UNIVERSITÀ
DI PAVIA



EP-DT
Detector Technologies



Funded by the
European Union
NextGenerationEU

Outline

1. Il cambiamento climatico
2. I gas serra nella fisica delle alte energie
 - a. Ridurre le emissioni
3. Il progetto CH₄rLiE
 - a. Sorgenti antropogeniche di CH₄
 - b. Caratterizziamo una stalla
 - c. Sviluppo del prototipo di cattura del CH₄
4. Conclusioni

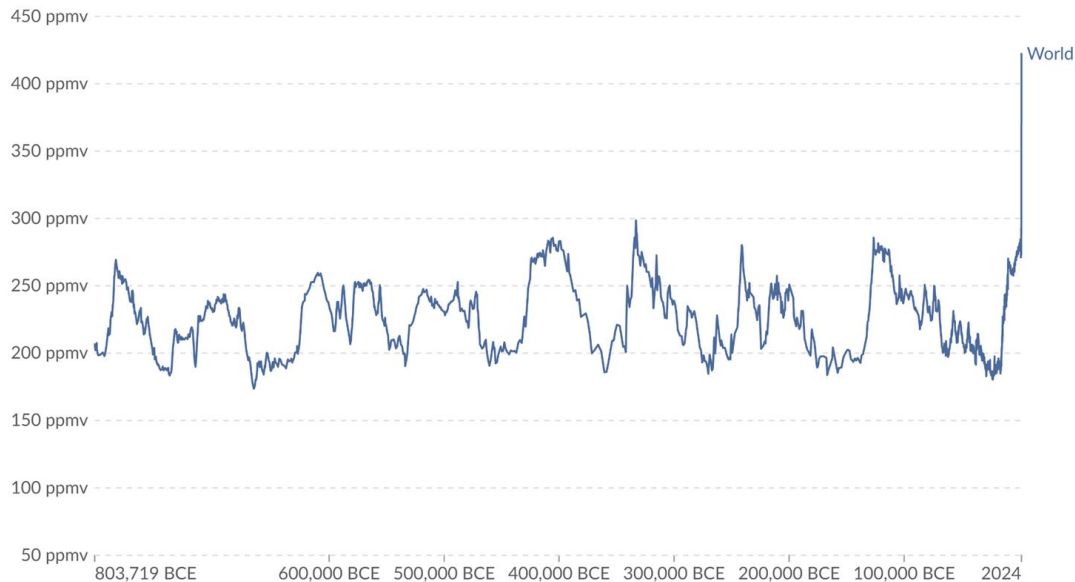
1 - Il cambiamento climatico

I gas serra

Carbon dioxide concentrations in the atmosphere

Our World
in Data

Atmospheric carbon dioxide (CO₂) concentration is measured in parts per million (ppm). Long-term trends in CO₂ concentrations can be measured at high-resolution using preserved air samples from ice cores.



Aumento della concentrazione di CO₂ in atmosfera

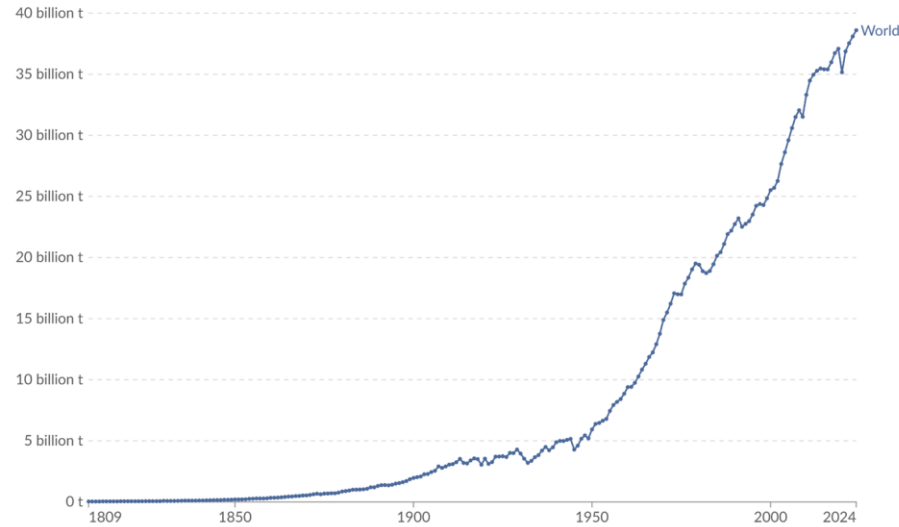
Data source: NOAA Global Monitoring Laboratory - Trends in Atmospheric Carbon Dioxide (2025); EPA based on various sources (2022)
OurWorldinData.org/climate-change | CC BY

I gas serra

Annual CO₂ emissions

Our World
in Data

Carbon dioxide (CO₂) emissions from fossil fuels and industry¹. Land-use change emissions² are not included.



Data source: Global Carbon Budget (2025)

OurWorldinData.org/co2-and-greenhouse-gas-emissions | CC BY

1. Fossil CO₂ emissions This refers to the carbon dioxide released when burning fossil fuels or from certain industrial activities. Burning fossil fuels — coal, oil, and gas — produces CO₂ during transport (cars, trucks, planes), electricity generation, heating, and energy use in industry. This also includes flaring, which is the burning of extra gas during oil and gas extraction. Some industrial processes also release CO₂. This happens especially in cement and steel production, where chemical reactions (unrelated to burning fuel) produce carbon dioxide. These figures don't include CO₂ emissions from changes in land use, like deforestation or reforestation.

2. Land-use change emissions Land-use change emissions are the carbon dioxide (CO₂) released or removed when land use changes. They mostly come from deforestation, forest degradation, turning forests or other ecosystems into cropland or pasture, and draining peatlands. When vegetation is cleared or burned, the carbon stored in plants and soil is released as CO₂. Land-use change can also remove CO₂ from the atmosphere when vegetation grows back, for example, when forests regrow. This can lead to negative emissions in the data.

In scientific and policy discussions, these emissions are sometimes grouped under the broader term "LULUCF" (land use, land-use change, and forestry).

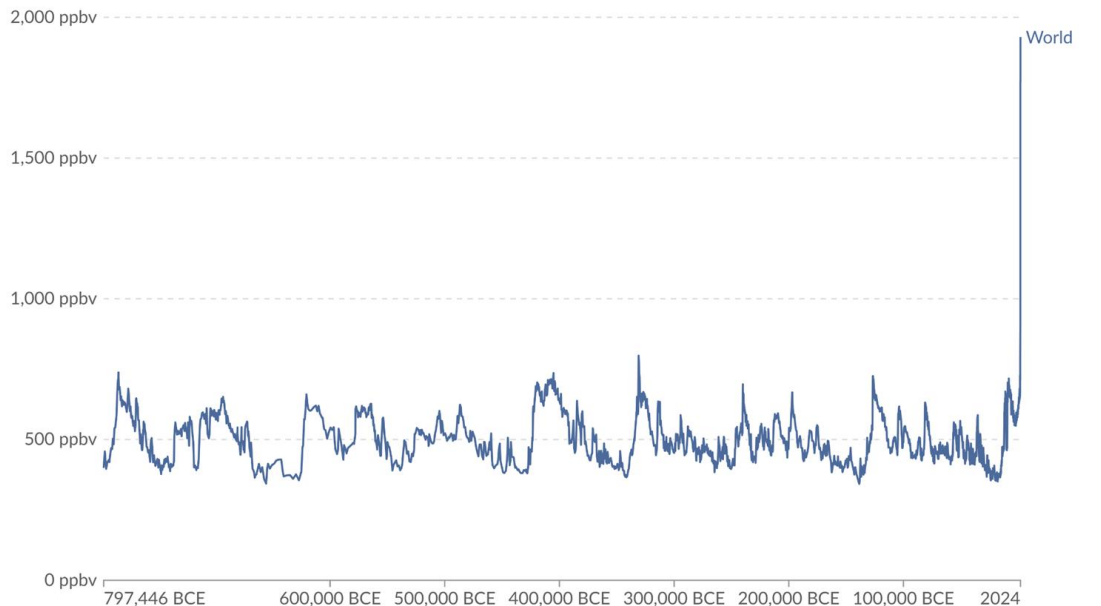
These estimates are uncertain because they depend on limited data and assumptions about land cover, how much carbon is stored in ecosystems, and how land is managed.

They are separate from fossil CO₂ emissions from burning fossil fuels and certain industrial processes.

I gas serra

Methane concentration in the atmosphere

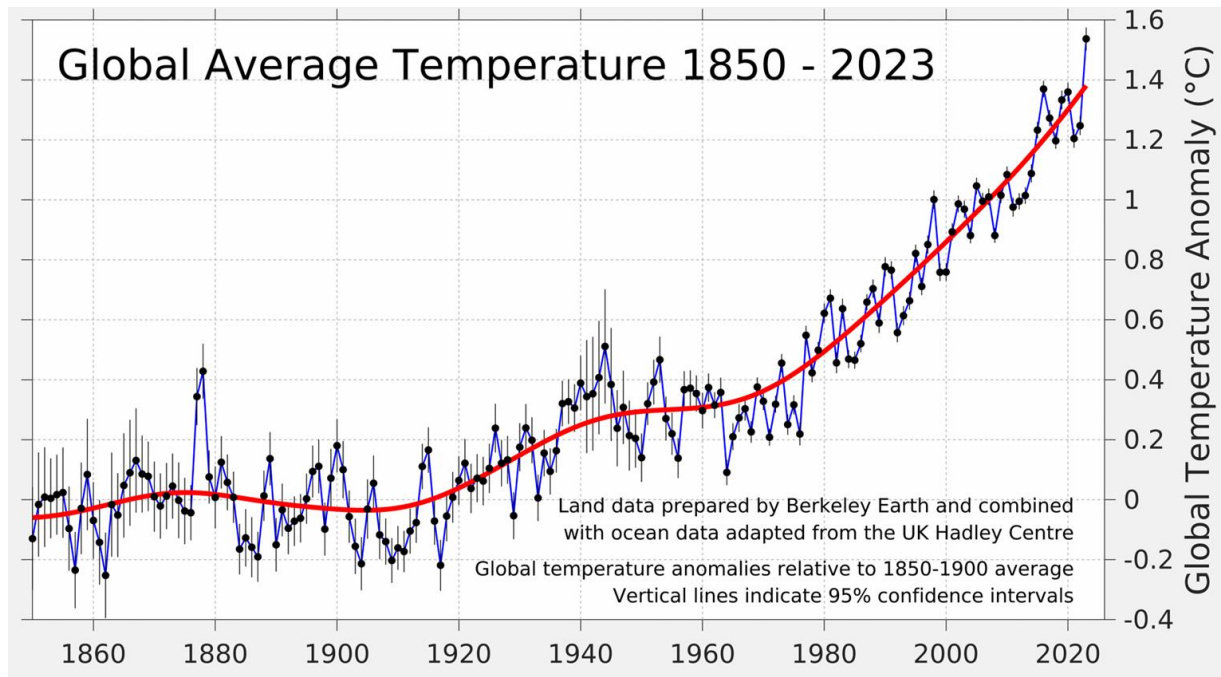
Measured in parts per billion.



Data source: NOAA Global Monitoring Laboratory - Trends in Atmospheric Methane (2025); EPA based on various sources (2022)
OurWorldinData.org/climate-change | CC BY

Non solo la CO₂, anche la
concentrazione di altri gas serra è
aumentata

Quali sono gli effetti osservati del cambiamento climatico?



(Berkeley Earth)

Aumento della temperatura globale

→ +1,1 °C rispetto all'epoca preindustriale

2 – I gas serra in High Energy Physics

Rivelatori a gas ad LHC

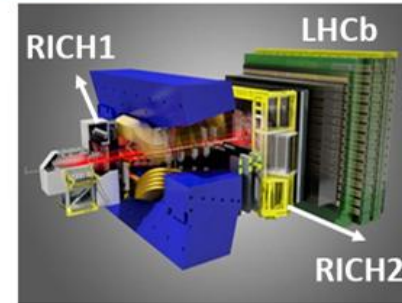
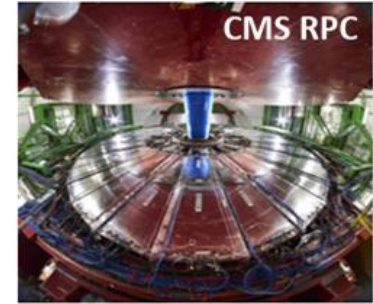
Rivelatori a gas sono usati in tutti gli esperimenti di LHC e in molte facilities non-LHC

Sono utilizzati in:

- rivelatori di muoni
- tracciatori
- sistemi di identificazione delle particelle

Sono adatti per:

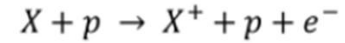
- triggering
- tracciamento
- identificazione delle particelle



Pillole di rivelatori a gas

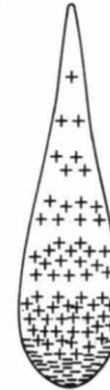


Ionizzazione primaria:



Ionizzazione secondaria: $X + e^- \rightarrow X^+ + e^- + e^-$

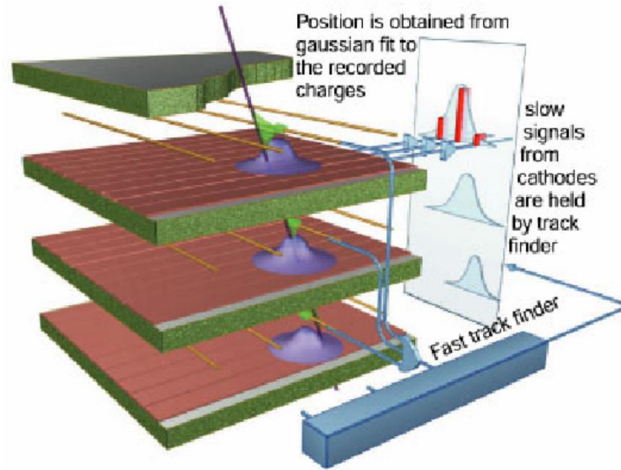
Townsend avalanche



Drop-like shape of an avalanche
Left: cloud chamber picture
Right: schematic view

Miscele di gas

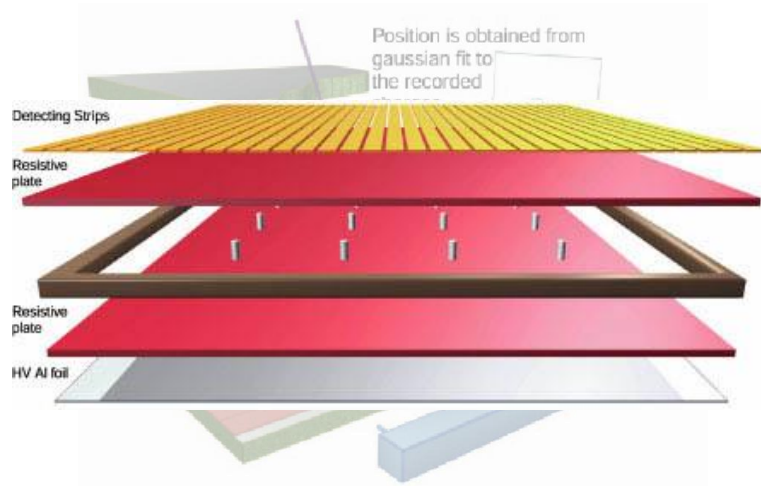
Nei rivelatori a gas il mezzo attivo è proprio il gas. In generale, a seconda delle caratteristiche del rivelatore e delle performance che si vogliono ottenere, si utilizzano miscele con diverse componenti



Cathode Strip Chambers:
 $40\%Ar + 50\%CO_2 + 10\%CF_4$

Miscele di gas

Nei rivelatori a gas il mezzo attivo è proprio il gas. In generale, a seconda delle caratteristiche del rivelatore e delle performance che si vogliono ottenere, si utilizzano miscele con diverse componenti



Cathode Strip Chambers:
 $40\% \text{Ar} + 50\% \text{CO}_2 + 10\% \text{CF}_4$

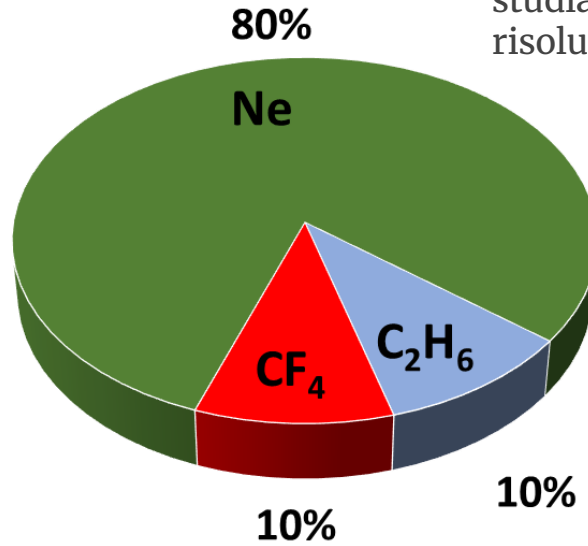
Resistive Plate Chambers:
 $95.2\% \text{C}_2\text{H}_2\text{F}_4$, $4.5\% \text{iC}_4\text{H}_{10}$, and
 $0.3\% \text{SF}_6$

Il caso di un rivelatore per il futuro



Picosec

un rivelatore a gas innovativo,
studiato per avere una migliore
risoluzione temporale



Global Warming Potential (GWP)

Global Warming Potential (GWP) è un indice che misura quanto un gas serra contribuisce al riscaldamento globale rispetto alla CO₂.

Quantifica quanta radiazione viene intrappolata da una certa massa di gas in un certo tempo rispetto a quanta ne intrappolerebbe la stessa quantità di anidride carbonica.

Gas	Atmospheric lifetime	GWP _{100 years}
CO ₂	50-200 years	1
R-134a	14 years	1430
CF ₄	50,000 years	7390
C ₄ F ₁₀	2600 years	9200
SF ₆	3200 years	22800

Gas Fluorinati

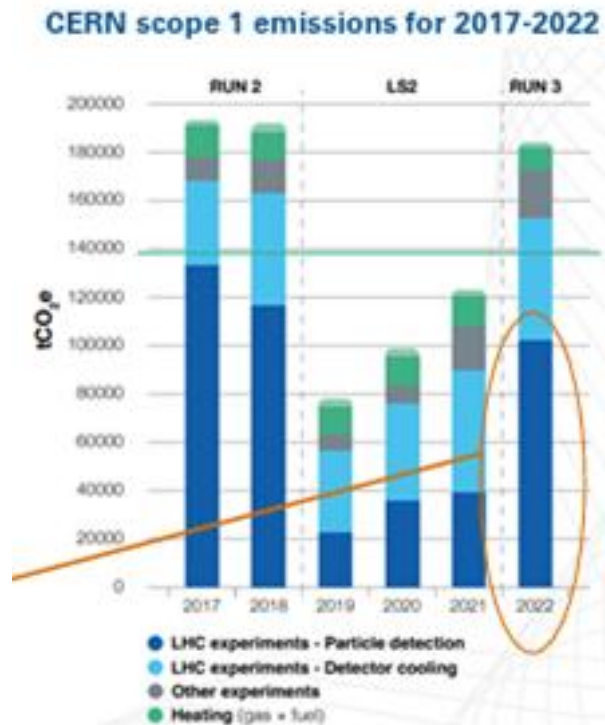
I gas fluorinati (tipicamente gli idro-fluoro-carburi HFC), usati dall'industria come refrigeranti, sono utilizzati in molti rivelatori a gas.

In genere questi gas hanno un elevato GWP.

L'Unione Europea sta cercando di limitarne la produzione e l'utilizzo, in vista di un bando entro il 2050.

Gas	Atmospheric lifetime	GWP _{100 years}
CO ₂	50-200 years	1
R-134a	14 years	1430
CF ₄	50,000 years	7390
C ₄ F ₁₀	2600 years	9200
SF ₆	3200 years	22800

GreenHouse Gases (GHG) al CERN



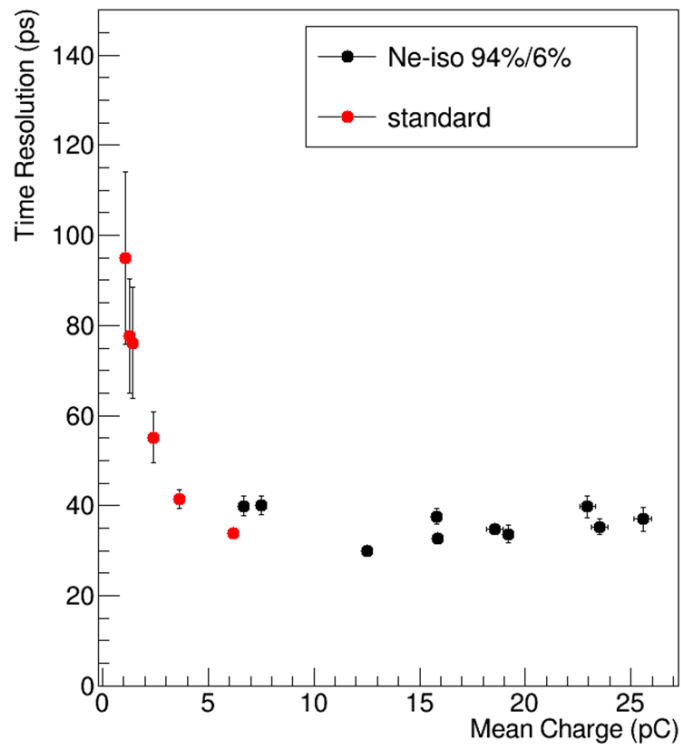
Il 78% delle emissioni al CERN sono dovute a miscele componenti gas fluorinati

L'obiettivo del CERN è di ridurre le emissioni del 28% entro la fine del Run 3

Strategie per ridurre i GHG

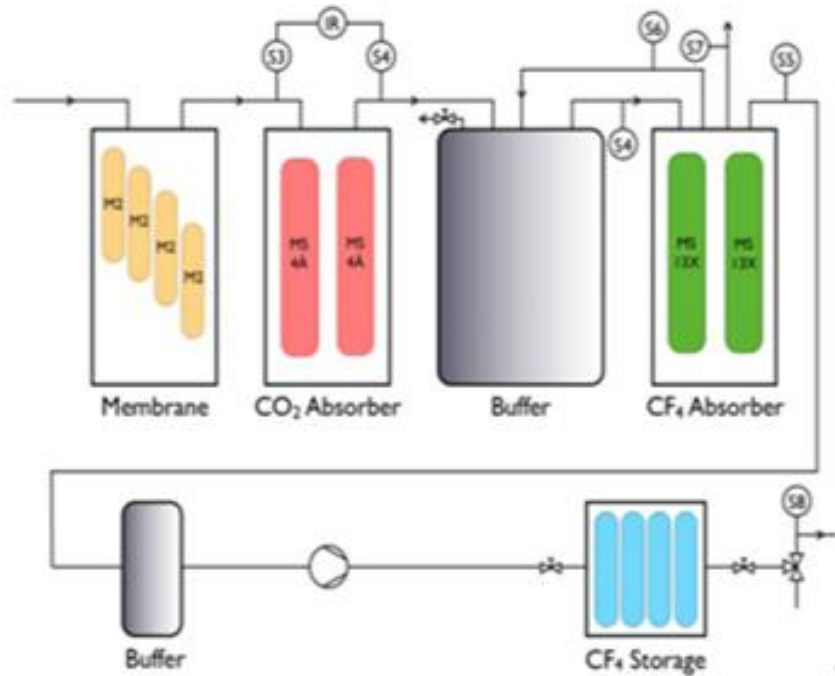


Ricerca di miscele alternative



Studio di miscele a minor impatto ambientale ma che mantengano le stesse performance per il rivelatore Picosec

Sistema di recupero del CF₄ @CMS



3 - Il progetto CH₄rLiE

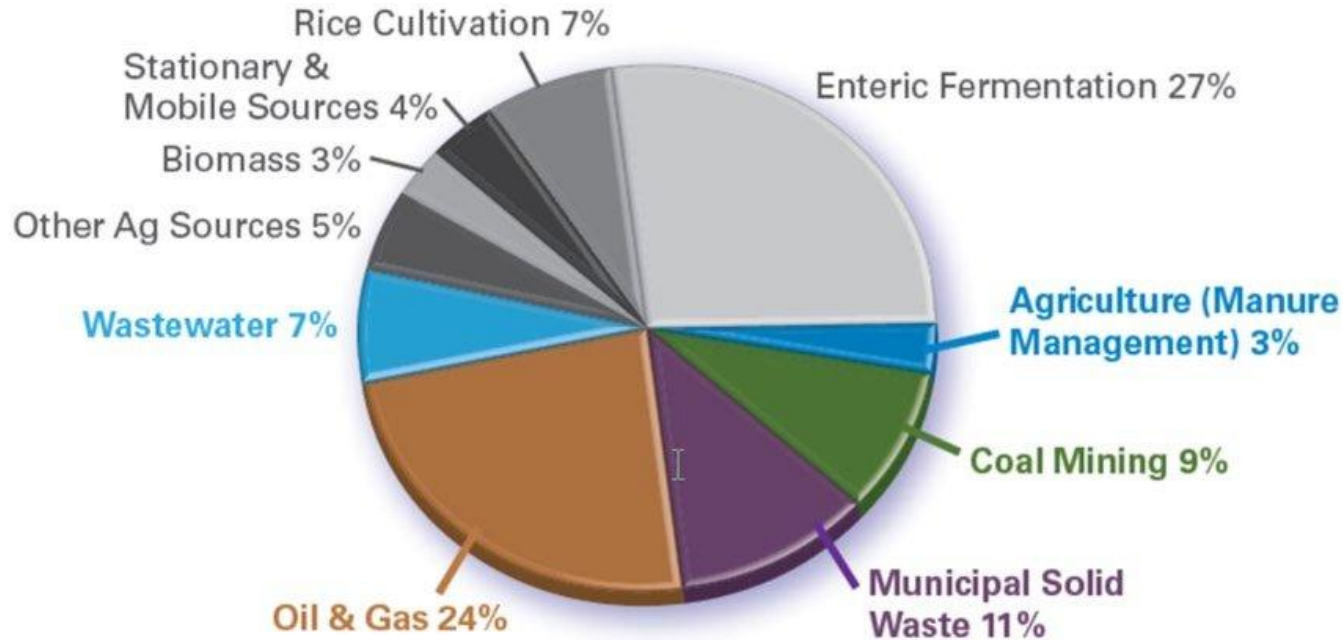
Cosa significa CH₄rLiE?

CH₄rLiE = CH₄ Livestock Emission

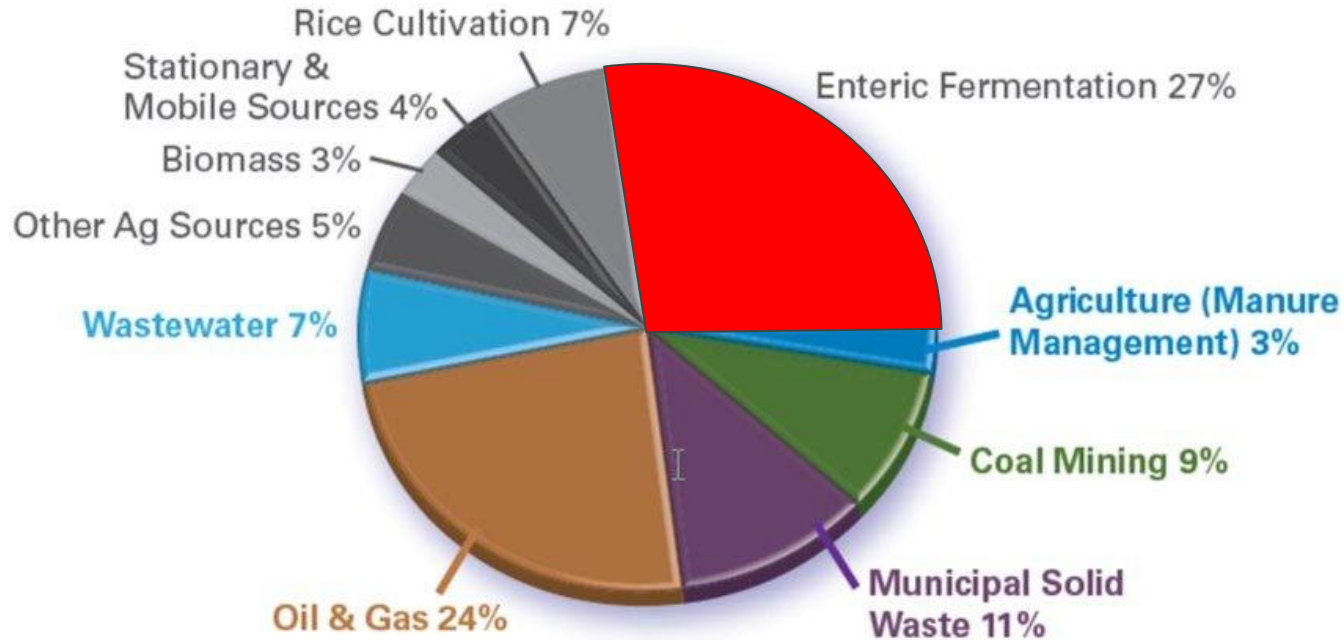
Il goal del progetto è riadattare un sistema di recupero del CF₄ sviluppato originariamente per i rivelatori a gas di LHC per catturare CH₄ emesso in stalla da bovini.



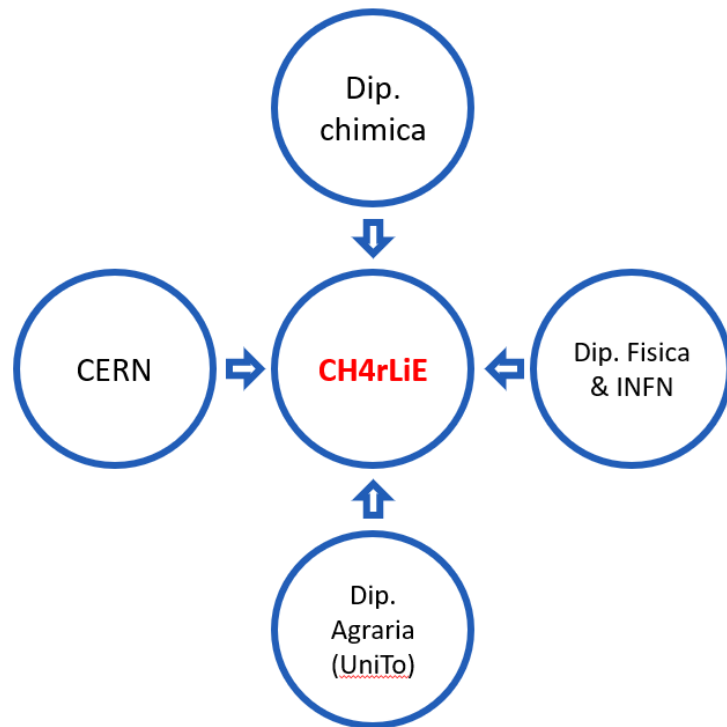
Sorgenti antropogeniche di CH₄



Sorgenti antropogeniche di CH₄



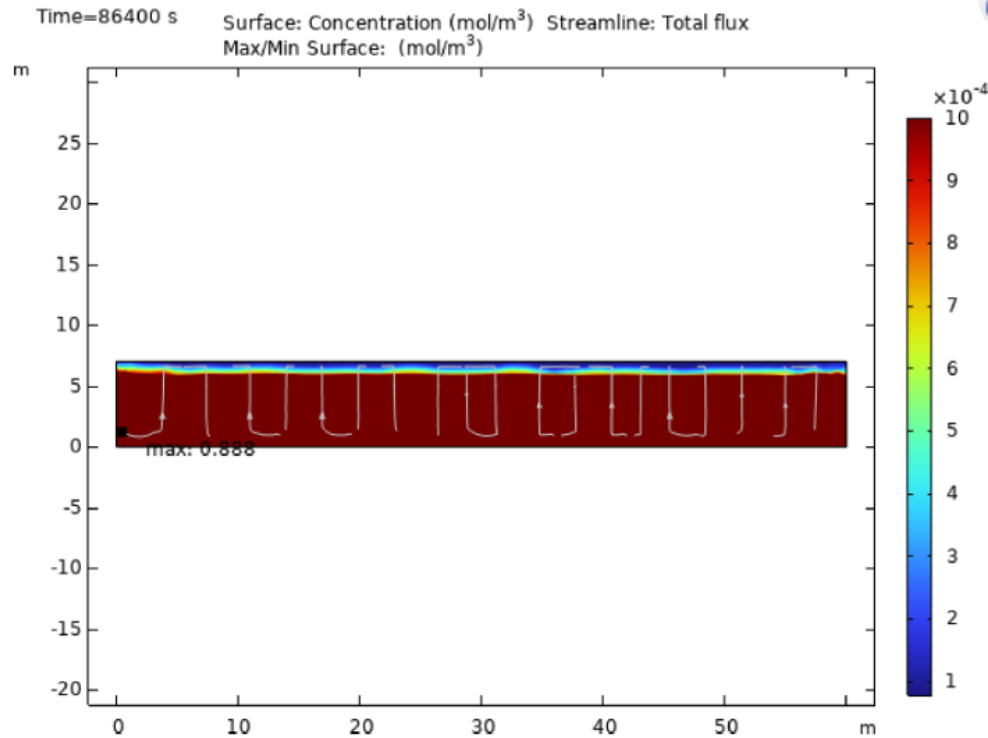
Un progetto multidisciplinare



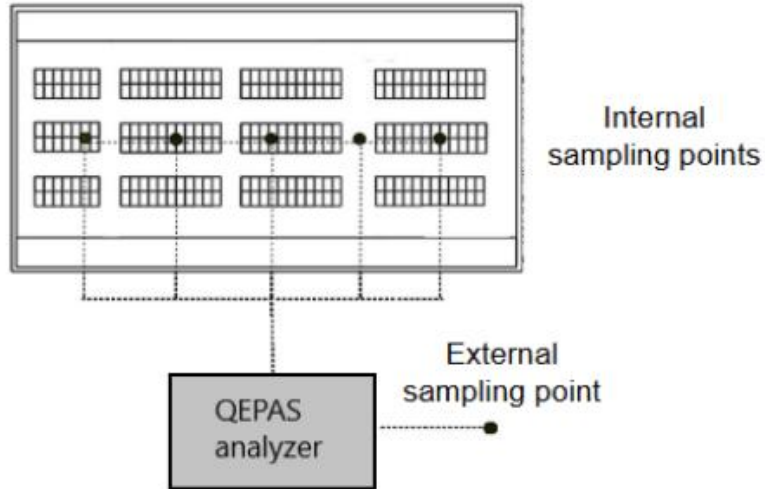
Gli step del progetto

1. Simulazione della stalla
 - a. Individuazione dei punti con la maggior concentrazione di metano
2. Misure in stalla
 - a. Monitoraggio delle condizioni ambientali
 - b. Verifica delle predizioni della simulazione
3. Test di assorbimento del metano in laboratorio
 - a. Costruzione di un prototipo minimale per verificare la capacità di assorbimento
 - b. Valutazione dell'impatto di "inquinanti" sull'assorbimento
4. Costruzione del prototipo di assorbimento

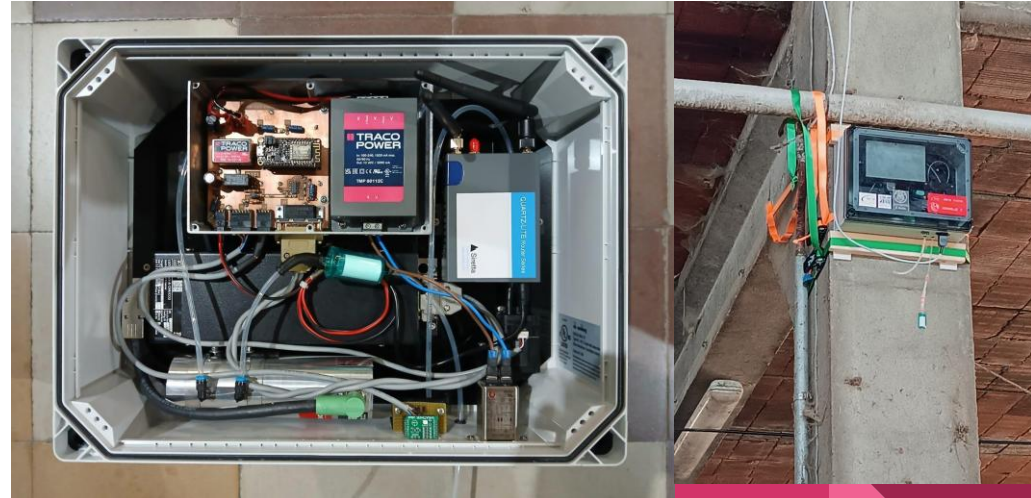
1- Simulazione della stalla



2- Misure in stalla: due metodi



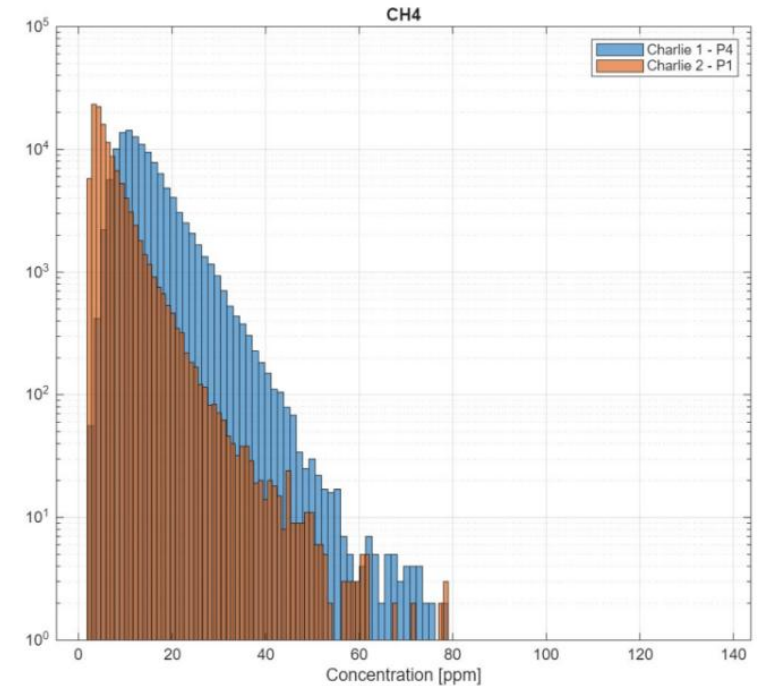
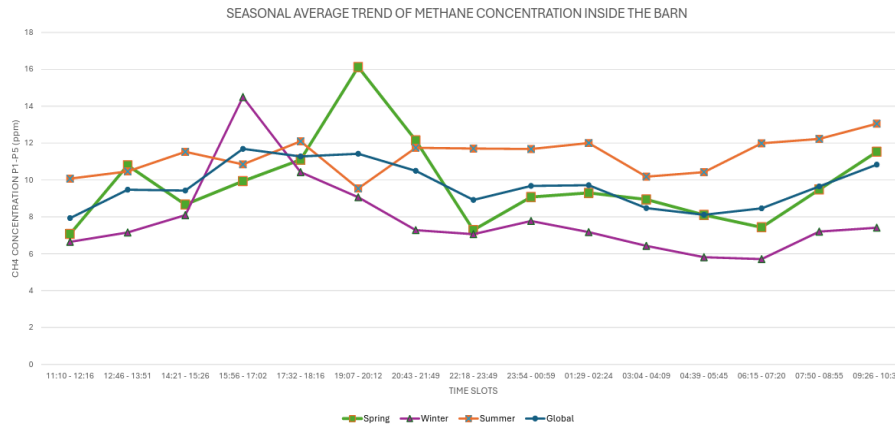
Stazioni di monitoraggio custom made



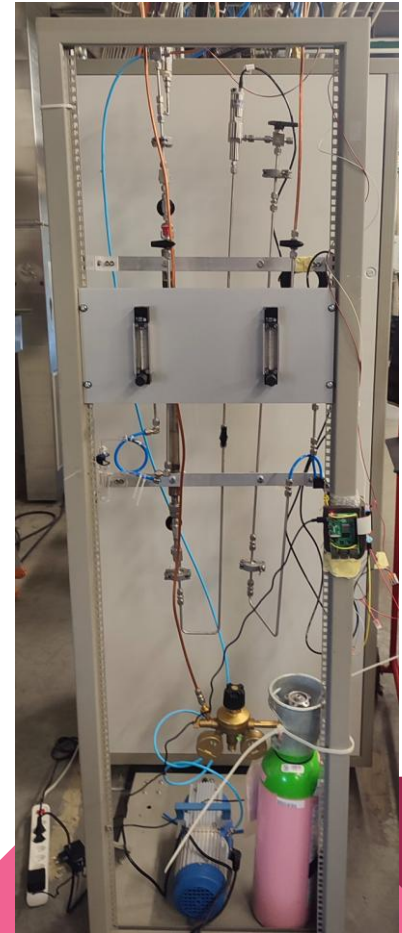
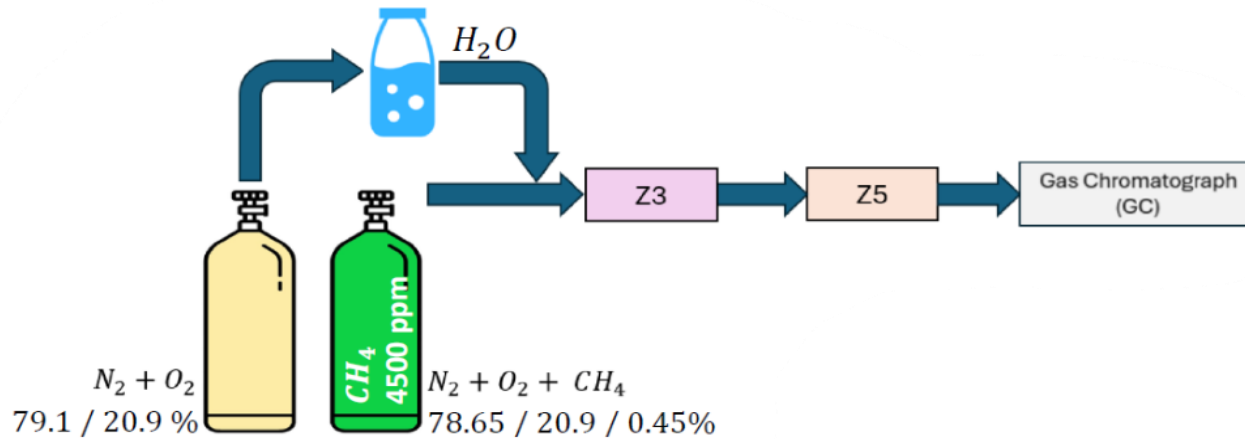
Quartz-Enhanced Photoacoustic Sensor

2- Misure in stalla

- Feedback per le simulazioni e per lo sviluppo del prototipo di cattura

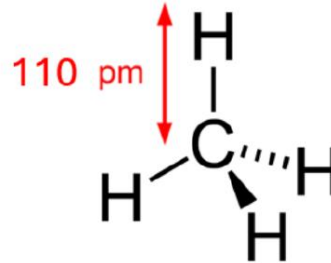
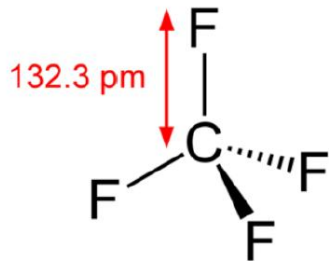
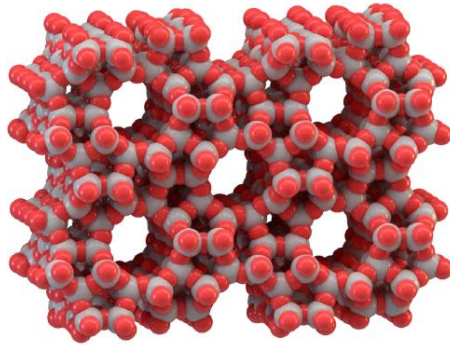


Sviluppo del prototipo di cattura del CH_4



Sviluppo del prototipo di cattura del CH₄

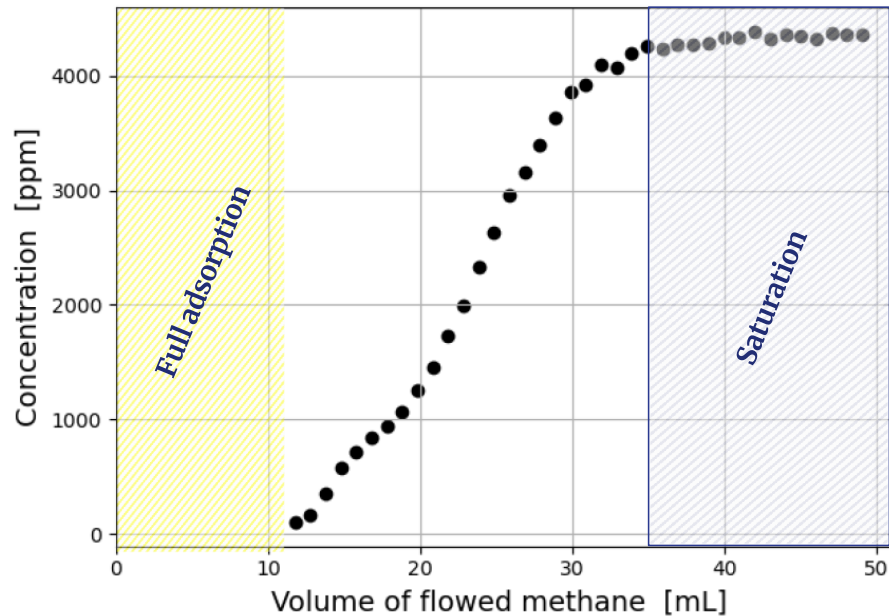
Il materiale adsorbitore → *zeoliti*



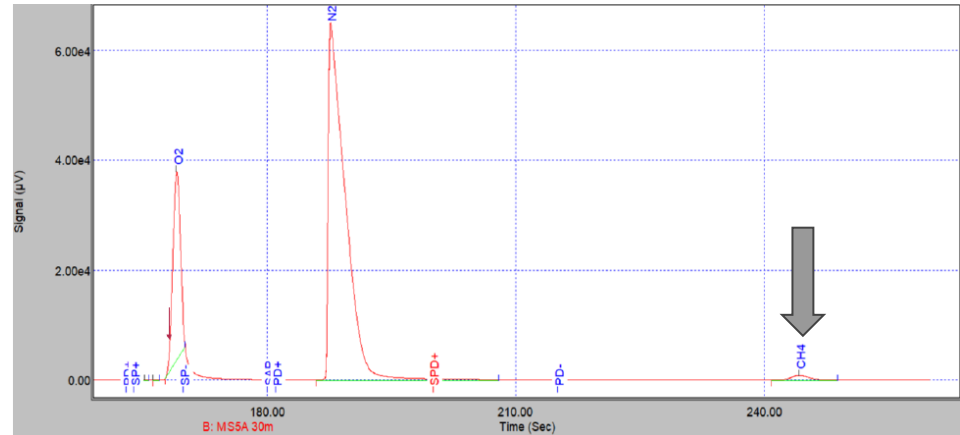
Una tipica presa dati

Il metano viene adsorbito dalle zeoliti. Man mano che la capacità di adsorbimento diminuisce, sempre più metano sarà visto in uscita dal gas cromatografo

Saturation curve



Cromatogramma




Gli step del progetto

1. Simulazione della stalla

- a. Individuazione dei punti con la maggior concentrazione di metano

2. Misure in stalla

- a. Monitoraggio delle condizioni ambientali
- b. Verifica delle predizioni della simulazione 

3. Test di adsorbimento del metano in laboratorio

- a. Costruzione di un prototipo minimale per verificare la capacità di assorbimento
- b. Valutazione dell'impatto di "inquinanti" sull'assorbimento 

4. Costruzione del prototipo di assorbimento



Conclusioni

Le applicazioni di una tecnologia possono andare al di là delle nostre aspettative



"Up is down. That's just maddeningly unhelpful. Why are these things never clear?" Cit. Jack Sparrow