



**POLITECNICO**  
MILANO 1863



# Innovazioni tecnologiche per il recupero di energia e risorse da reflui dell'agroindustria

5 Ottobre 2015



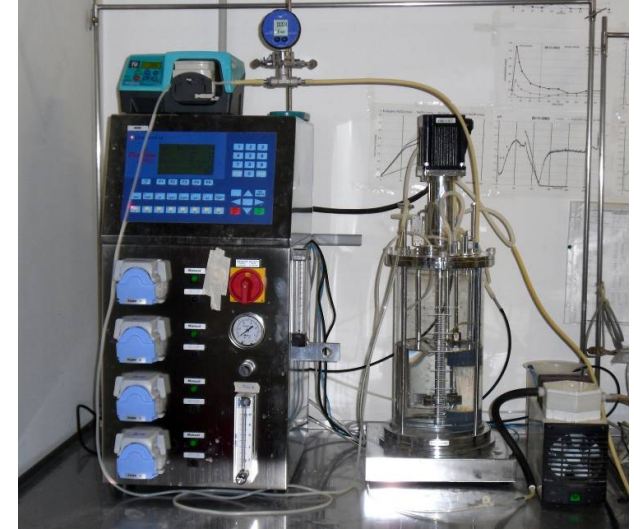
**POLITECNICO**  
MILANO 1863

## I risultati sperimentali del progetto ECO-SI: recupero proteine e produzione energia

Aronne Teli

# Indice della presentazione

1. Dark Fermentation (DF): confronto con il processo di Digestione Anaerobica (AD)
2. Piano sperimentale
3. Risultati dell'attività sperimentale
  - a. Descrizione impianto prototipale
  - b. AD del siero dep.
  - c. DF del siero dep.
  - d. DF + AD del siero dep.
4. Considerazioni conclusive



**Impianto DF scala lab (fasi A-B)**



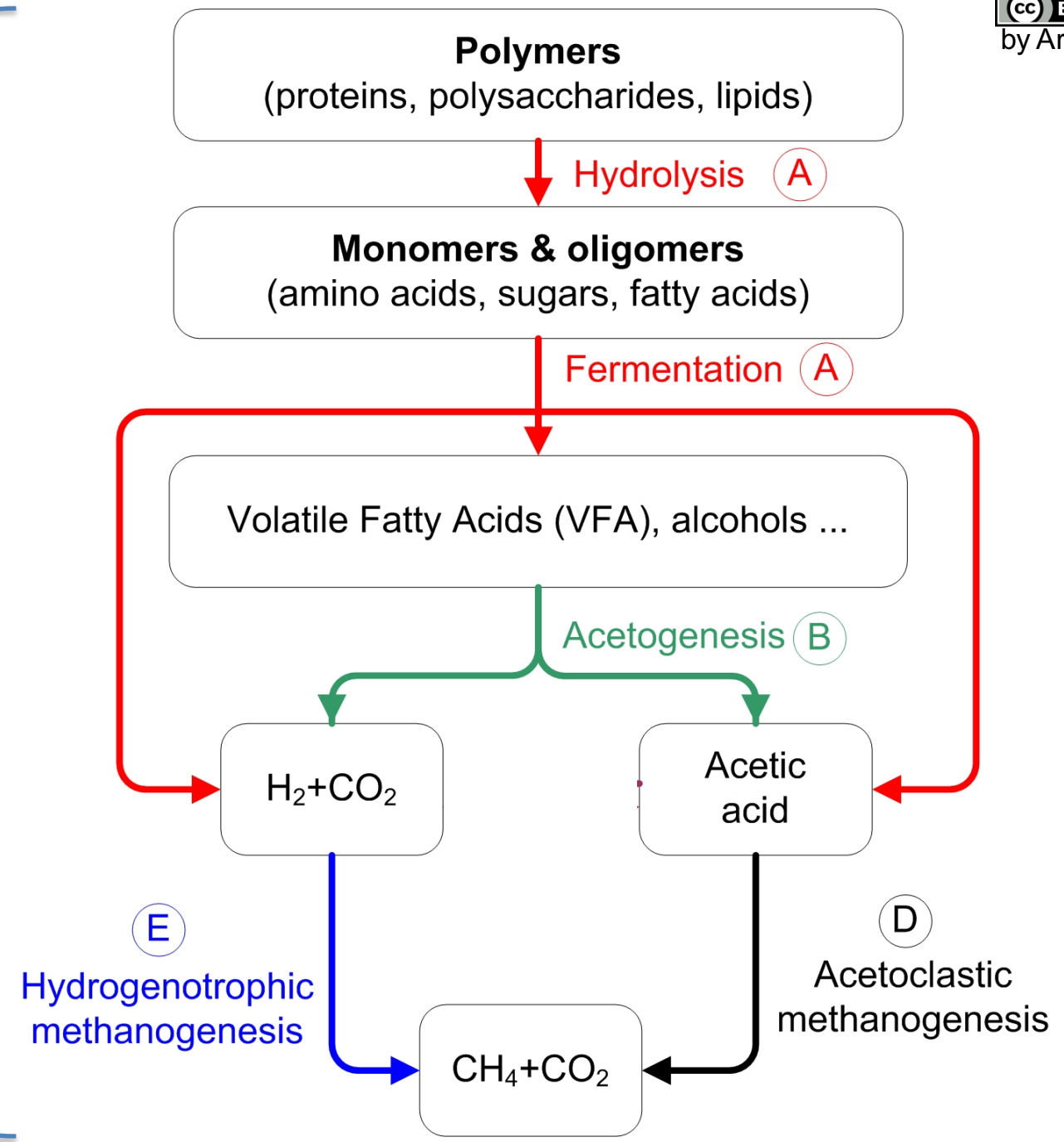
**Impianto pilota (fase C)**



# 1 Confronto DA e DF

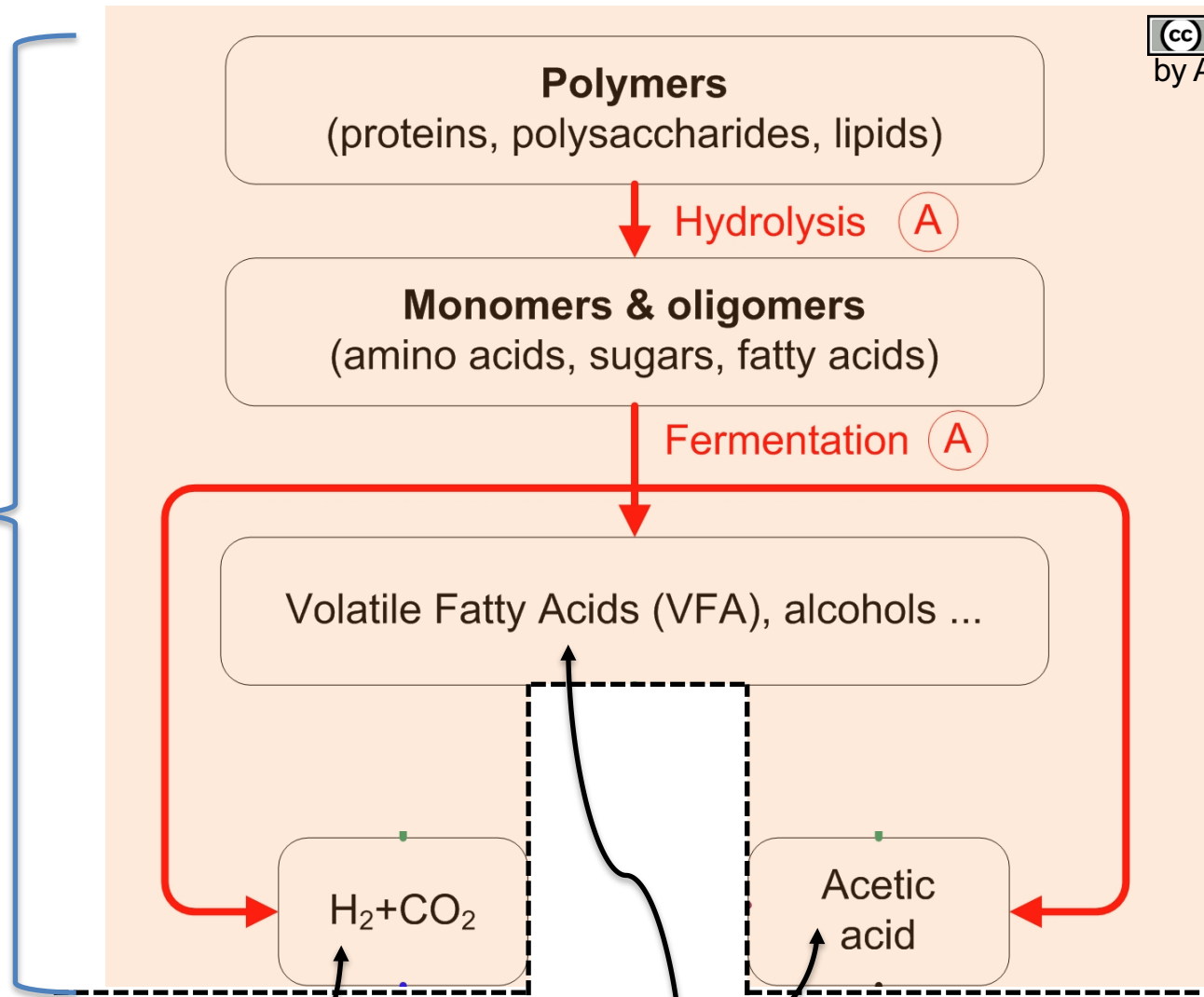
Processo AD  
competo

AD = Digestione  
Anaerobica



# 1 Confronto DA e DF

Processo DF



H<sub>2</sub> (gas) allontanato  
<15% COD<sub>in</sub>

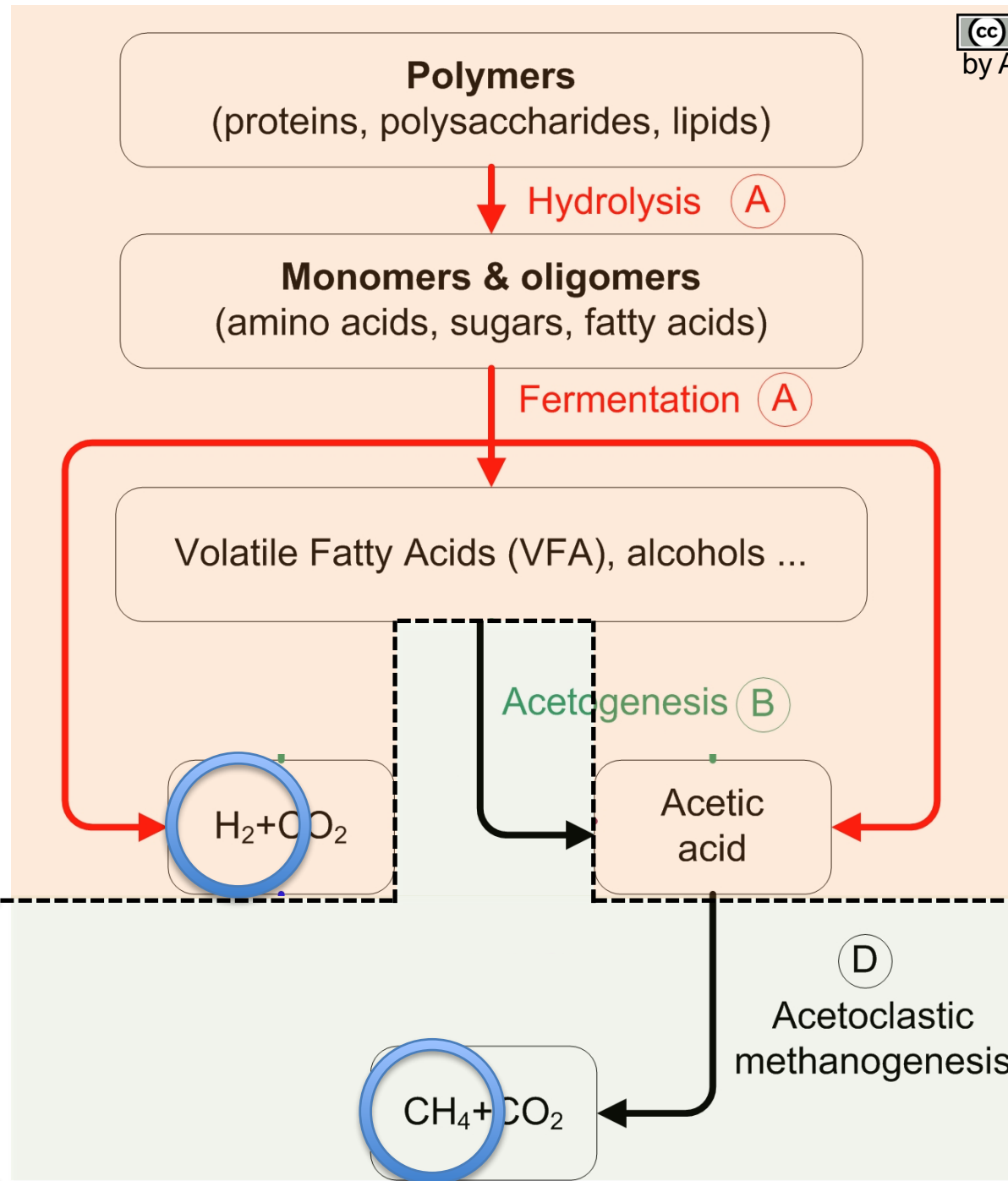
VFA (acido butirrico ed  
acetico) permangono in  
fase liquida



# 1 Confronto DA e DF

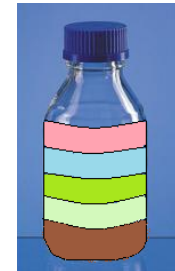
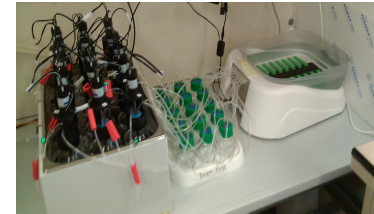
Processo DF

Processo AD  
conclusivo  
(acetogenesi +  
metanogenesi)



## 2 Pianificazione dell'attività sperimentale

- A) **DF** Batch test (**lab** scale)  
*Biochemical Hydrogen Potential (BHP)*

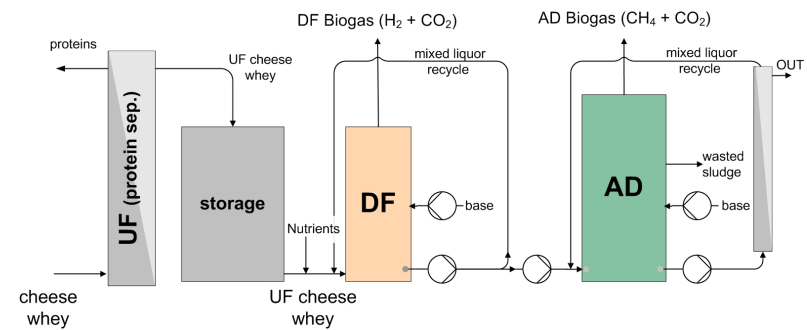


- B) **DF** MBR e CSTR continuous test (**lab** scale)

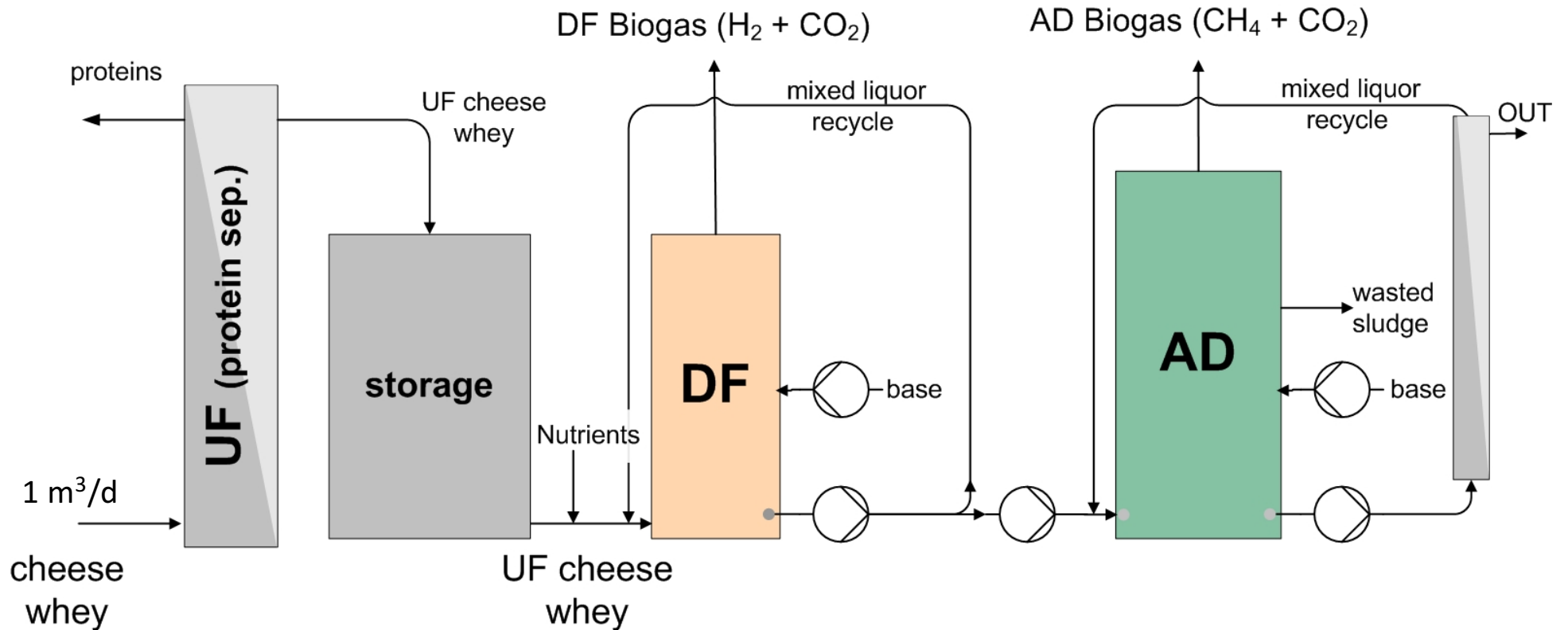
MBR = **M**embrane **B**io**R**eactor  
 CSTR = **C**ontinuous flow **S**tirred-**T**ank **R**eactor



- C) **1** **AD** MBR (**pilot** scale)  
**2** **DF** **AD** MBR (**pilot** scale)



### 3a Descrizione dell'impianto prototipale (schema dei flussi)



#### Siero dep.

- COD = 52 g/L
- TKN = 153 mg/L
- Ca<sup>2+</sup>, Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, Cl<sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, ...

#### Dark fermentation

- pH ~ 5 - 5,5
- T ~ 37° C
- HRT = SRT = 0,75 d

#### Digestione anaerobica

- pH ~ 6,8 - 7
- T ~ 35° C
- SRT = 30 d
- HRT = 3,5 d

#### Unità di ultrafiltrazione a membrane

- flusso tangenziale
- Berghof HyMem
- pori ~ 30 nm
- flusso ~ 20 LMH
- S filtrante = 4.1 m<sup>2</sup>

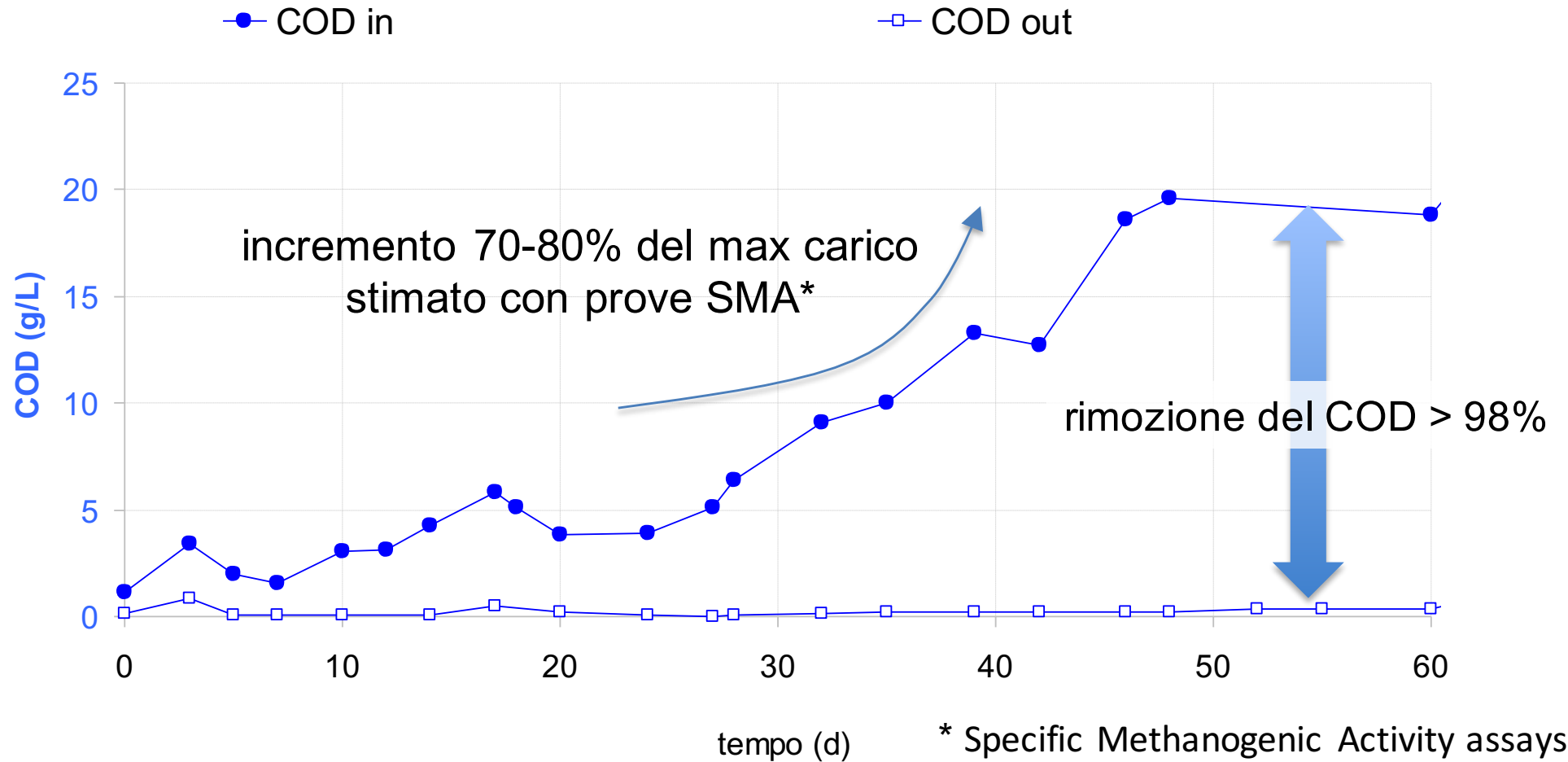


# 3b Digestione anaerobica (AD)



scala pilota

- Start-up: 50 giorni
- Concentrazione COD in crescente (da 1 a 20 g/L diluendo con acqua di rete)





## 3b Digestione anaerobica (AD)



scala pilota

### - Produzione di biogas

~ 25 m<sup>3</sup><sub>N</sub>/t siero dep. (55% CH<sub>4</sub> - 45 % CO<sub>2</sub>)

### - Ottima qualità dell'effluente in uscita

COD<sub>out</sub> → media = 200 mg/L range = 30-490 mg/L

N<sub>tot out</sub> → < 5 mg / L



Processo biologico  
ottimizzato +  
effetto filtrazione  
su membrana UF

### - TMP

TMP < 0,250 bar (media = 0,150 bar)



## 3c Dark fermentation (DF)

→ Principali problematiche da considerare in fase di start-up

1 competizione batterica e dilavamento biomassa indesiderata

2 shift del percorso metabolico per valori elevati di  $COD_{in}$



## 3c Dark fermentation (DF)

→ Principali problematiche da considerare in fase di start-up

1 competizione batterica e dilavamento biomassa indesiderata

2 shift del percorso metabolico per valori elevati di  $COD_{in}$

- batteri  $H_2$ -consumer  
(principalmente batteri **metanigeni**)
- batteri in competizione per il consumo di lattosio  
(batteri **lattici**)



a) trattamento termico dell'inoculo

b) SRT\* bassi


c) trattamento termico di una frazione del fango ricircolato

SRT\* = Sludge retention time (tempo di residenza cellulare)



a, c)

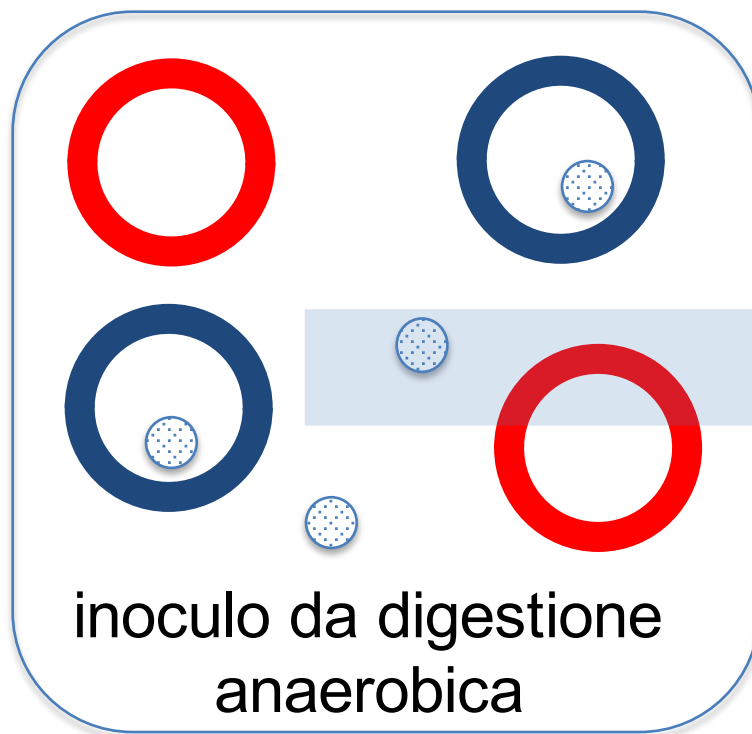




 cellule fermentative  
e relative spore

 metanigeni ed altri batteri  
non sporigeni



a, c)

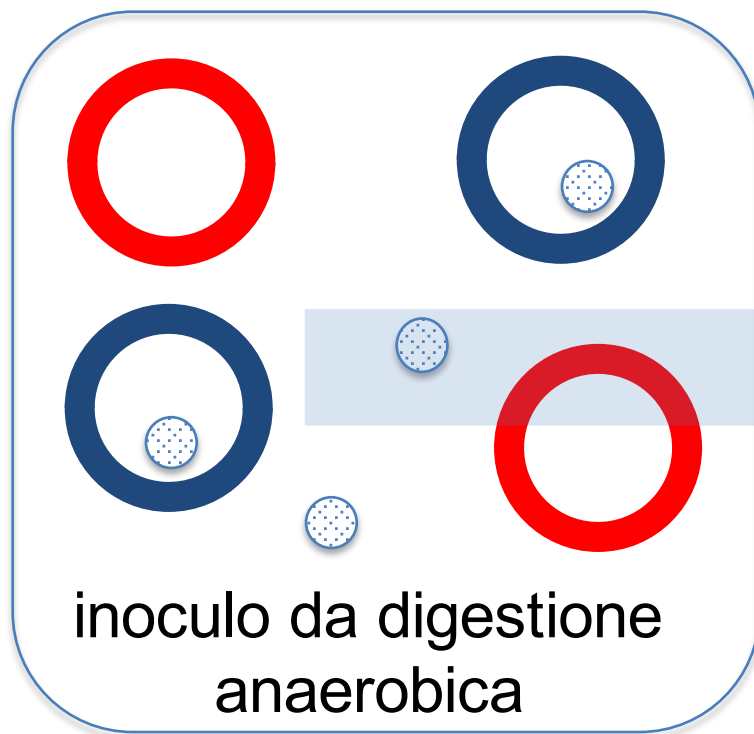



  cellule fermentative e relative spore

 metanigeni ed altri batteri non sporigeni



a, c)

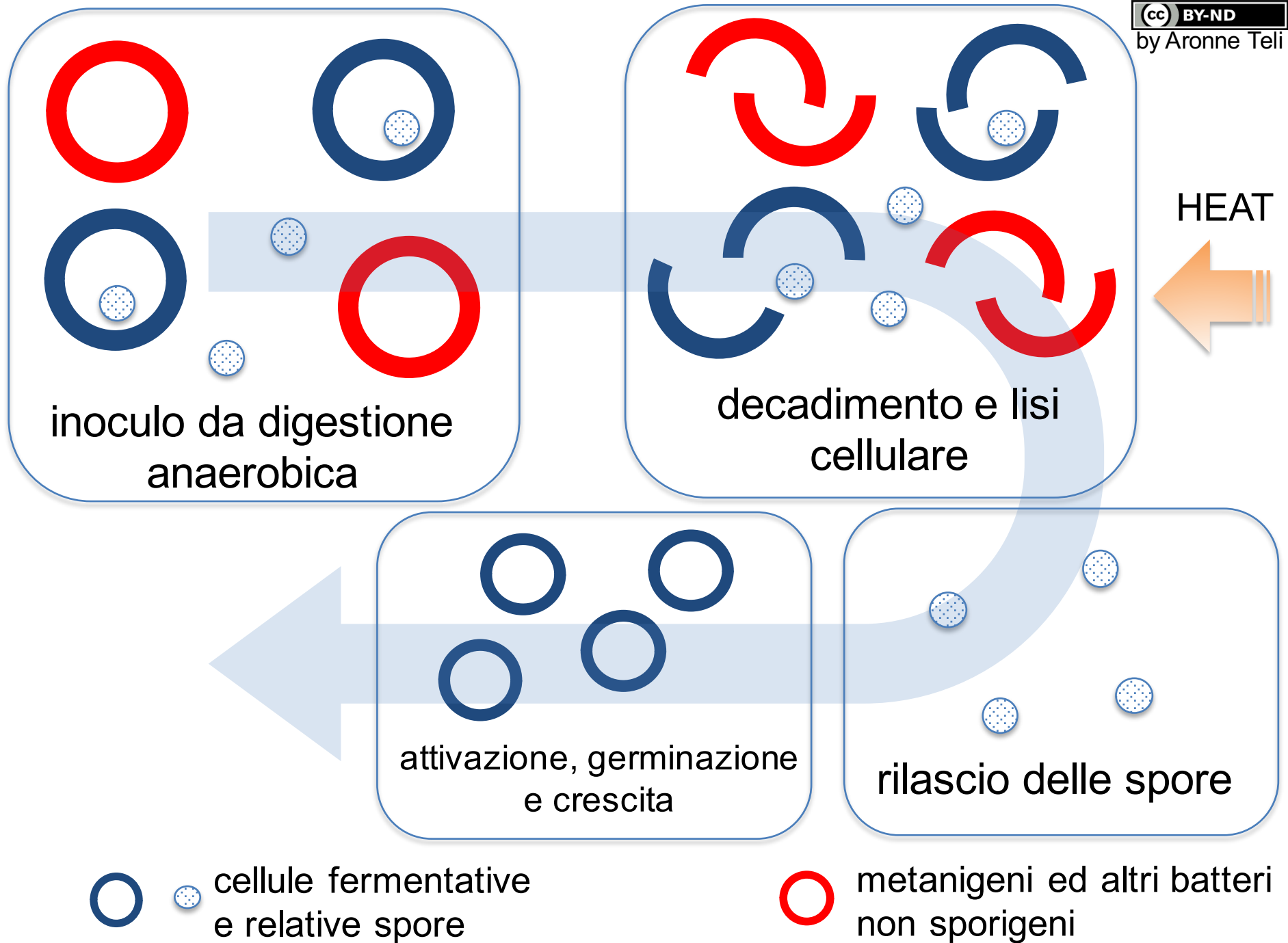


 cellule fermentative e relative spore

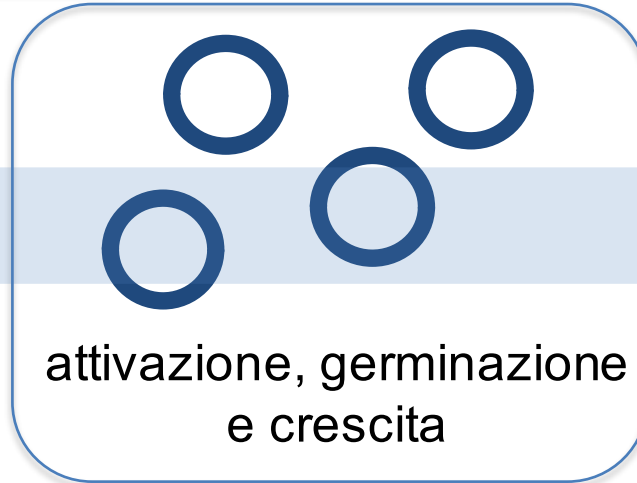
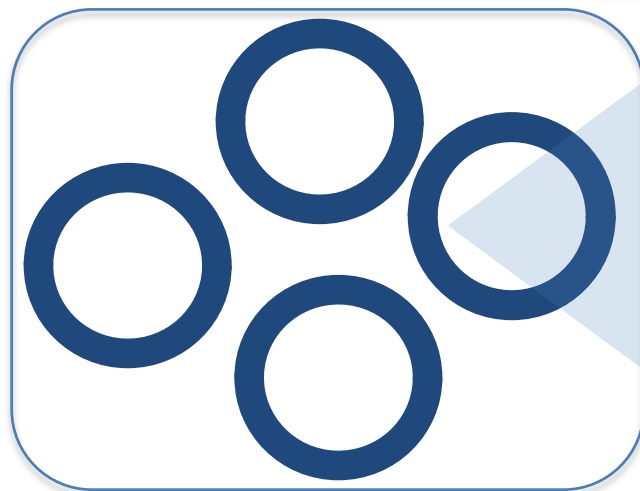
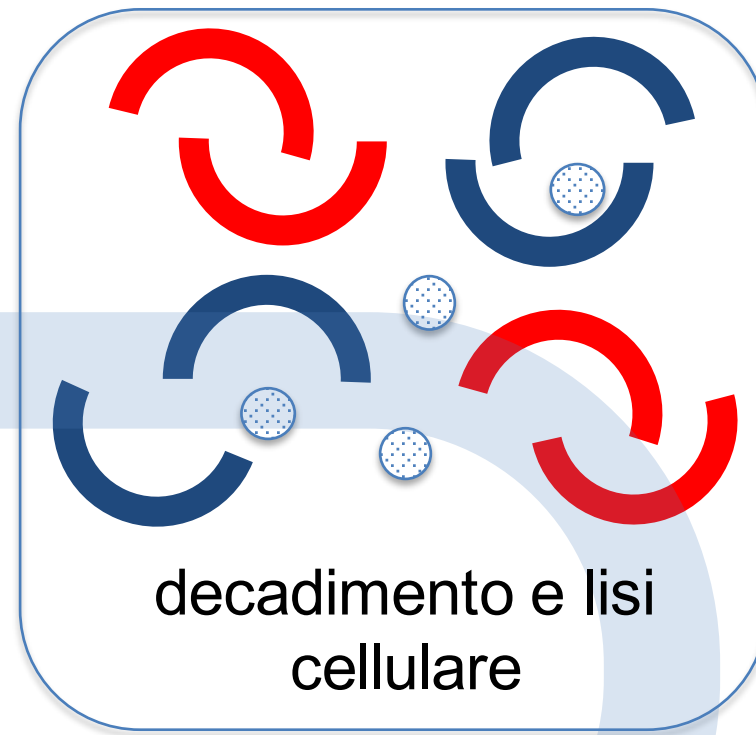
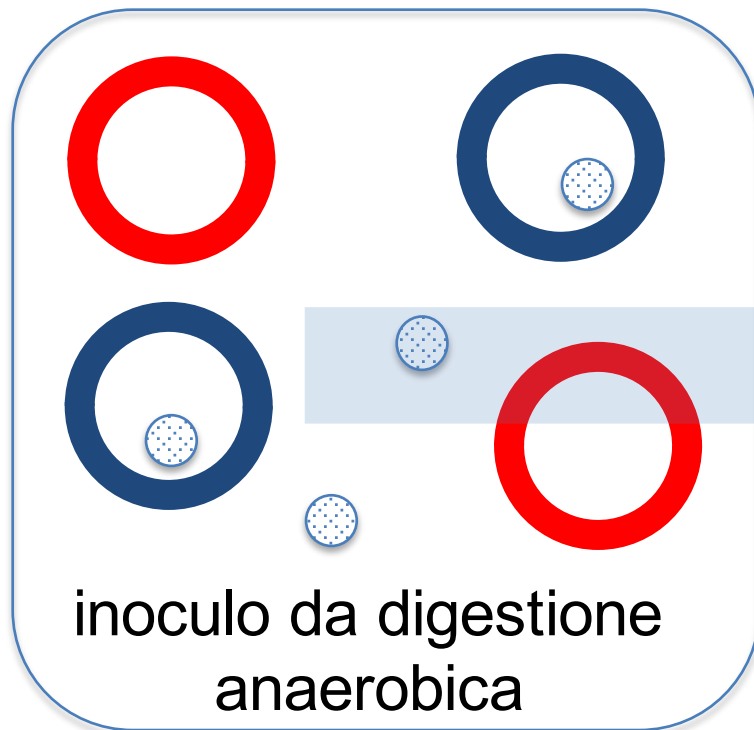
 metanigeni ed altri batteri non sporigeni



a, c)



a, c)



○ ● cellule fermentative e relative spore

○ metanigeni ed altri batteri non sporigeni





## 3c Dark fermentation (DF)

→ Principali problematiche da considerare in fase di start-up

1 competizione batterica e dilavamento biomassa indesiderata

2 shift del percorso metabolico per valori elevati di  $COD_{in}$

- batteri  $H_2$ -consumer  
(principalmente batteri **metanigeni**)
- batteri in competizione per il consumo di lattosio  
(batteri **lattici**)

**a) trattamento termico dell'inoculo → LAB**



**b) SRT\* bassi → PILOTA**

**c) trattamento termico di una frazione del fango ricircolato**

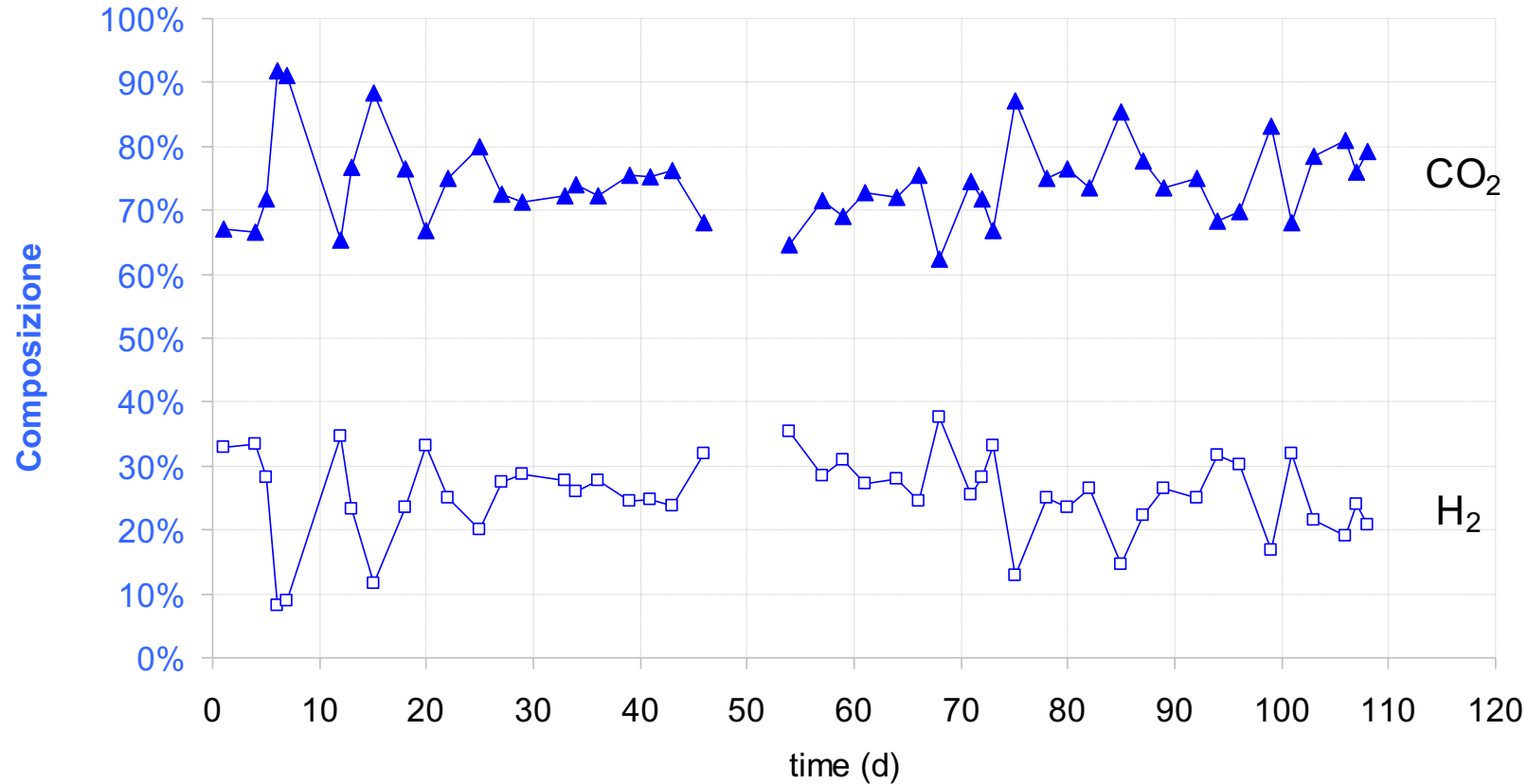
SRT\* = Sludge retention time (tempo di residenza cellulare)



# 3c Dark fermentation (DF) - scala lab.

DF  
scala lab.

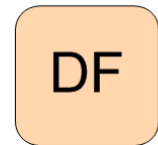
→ strategia a (solo trattamento termico; pH = 5,5)



**trattamento termico + SRT = 6 d**  
- dilavamento metanigeni  
- contaminazione batteri lattici  
- H<sub>2</sub> medio = 25%

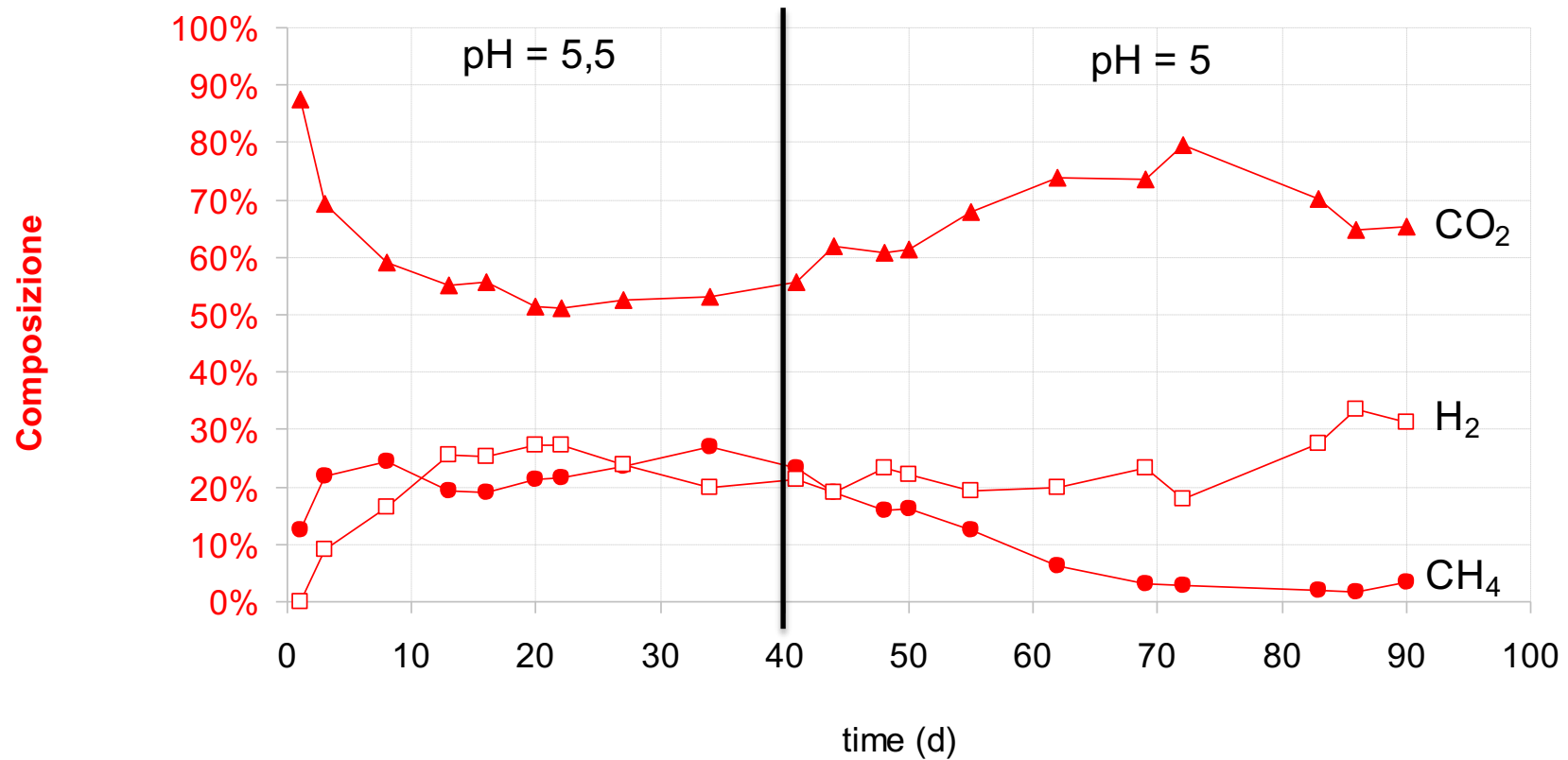


# 3c Dark fermentation (DF) - scala pilota



scala pilota

→ strategia **b** (solo controllo SRT = 0,75 d; pH = 5 - 5,5)



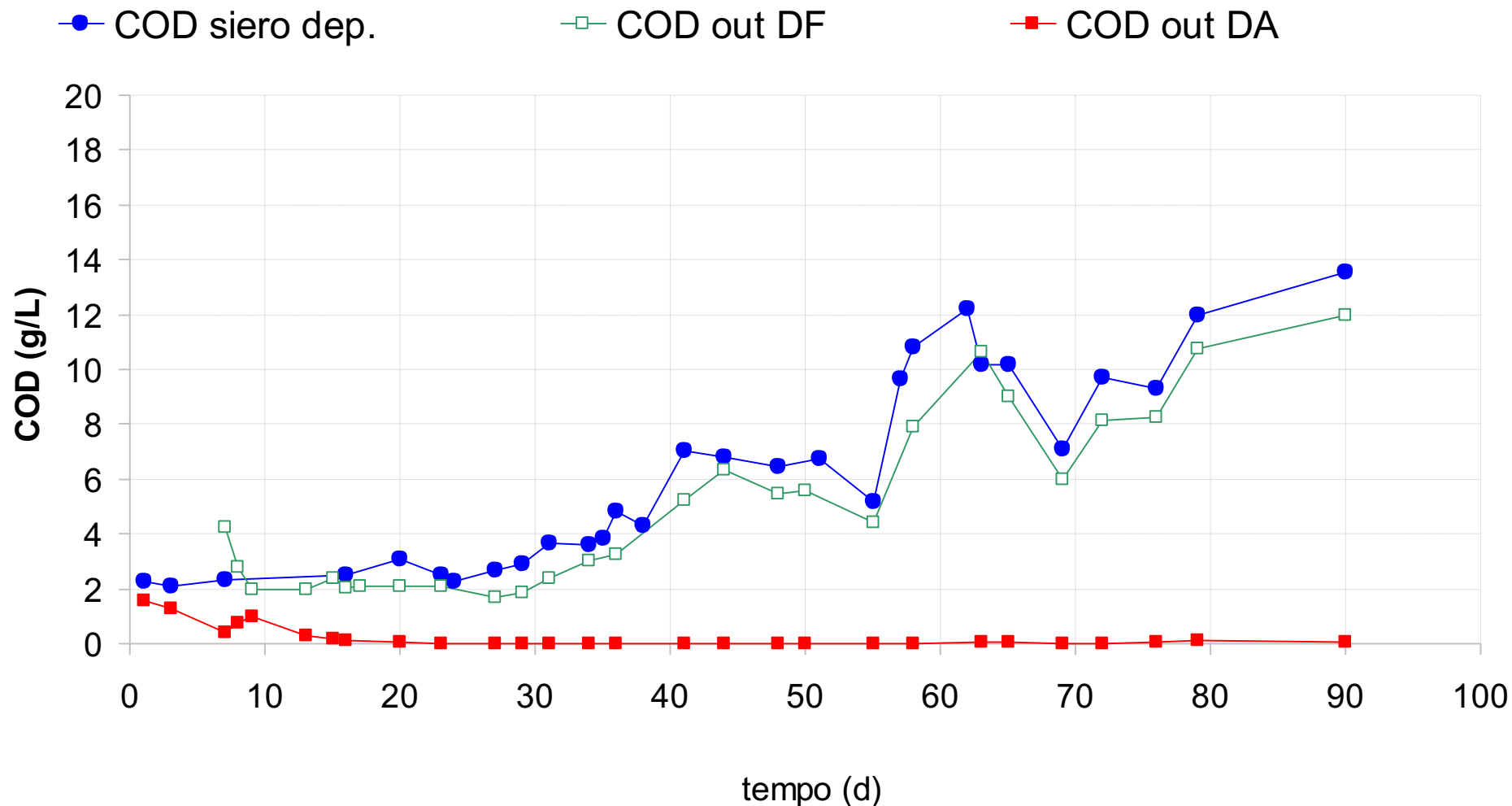
**NO trattamento termico + SRT = 0,75 d**  
- dilavamento metanigeni lento  
- H<sub>2</sub> medio = 30%



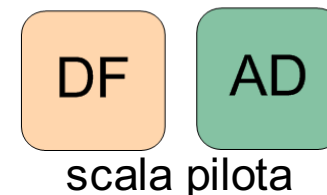
# 3c DF + DA - scala pilota



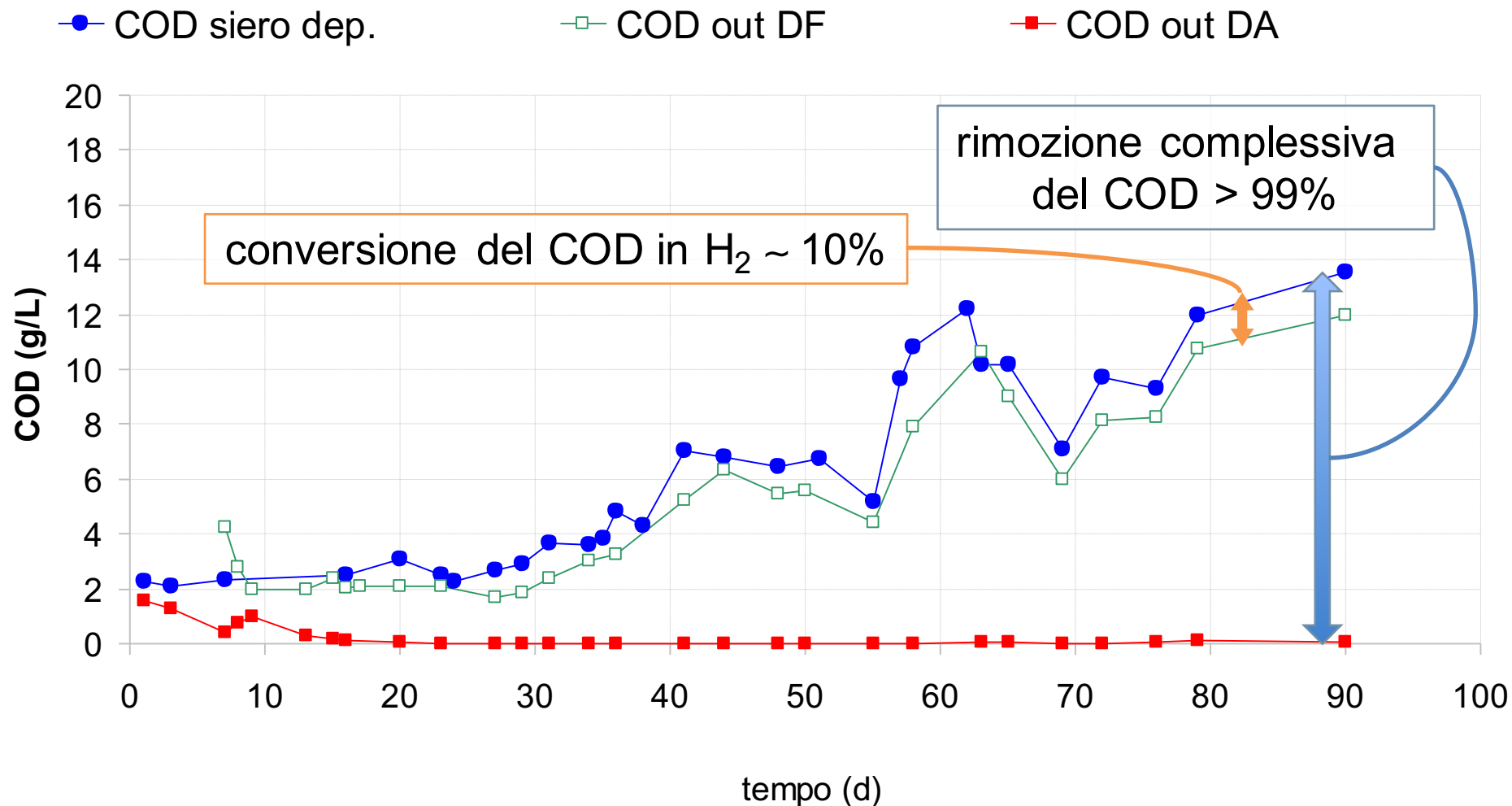
- Concentrazione COD<sub>in</sub> crescente (da 1 a 15 g/L diluendo con acqua di rete)



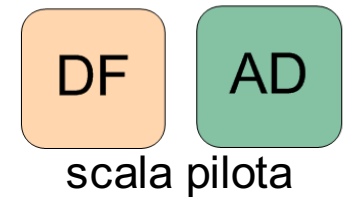
# 3c DF + DA - scala pilota



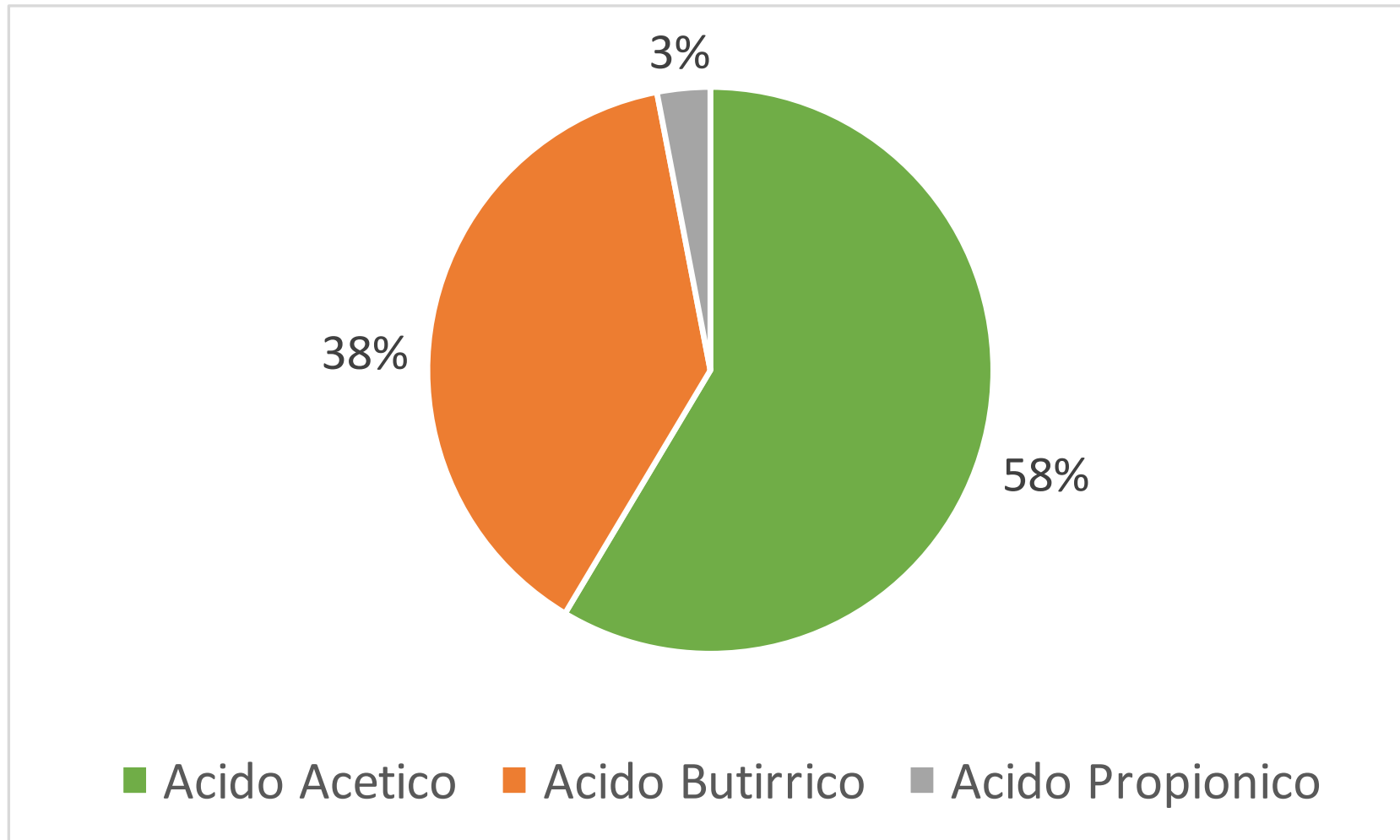
- Concentrazione COD<sub>in</sub> crescente (da 1 a 15 g/L diluendo con acqua di rete)



## 3c DF + DA - scala pilota



- frazionamento VFA in uscita dalla DF



## 3b Digestione anaerobica (AD)



scala pilota

### - Produzione di biogas

$\sim 40 \text{ m}^3_{\text{N}}/\text{t}_{\text{siero dep.}}$  (15 %  $\text{H}_2$  - 38%  $\text{CH}_4$  - 47%  $\text{CO}_2$ )

### - Ottima qualità dell'effluente in uscita

$\text{COD}_{\text{out}} \rightarrow \text{media} = 43 \text{ mg/L}$  range = 10-160 mg/L

$\text{N}_{\text{tot out}} < 5 \text{ mg/L}$



Processo biologico  
ottimizzato +  
effetto filtrazione  
su membrana UF

### - TMP

$\text{TMP} < 0,150 \text{ bar}$  (media = 0,075 bar)



## 4 Conclusioni

### - DARK FERMENTATION

- risultati promettenti
- processo complesso nella gestione
- necessari approfondimenti relativamente a stabilità di processo e miglioramento resa di produzione di H<sub>2</sub>

### - DIGESTIONE ANAEROBICA + filtrazione su membrane

- elevanti rendimenti di rimozione sul COD (con e senza DF)
- ottima qualità dell'effluente (COD – N)
- approfondimenti in corso in merito al riutilizzo delle acque depurate





# Grazie per l'attenzione

[aronne.teli@polimi.it](mailto:aronne.teli@polimi.it)

