

ENEA

Processo «CHARLENE» per il recupero di fosforo da fanghi di depurazione e altri scarti biogenici per via termo-chimica

Marta Di Bianca

R&D Engineer / Raw materials & carbon recycling



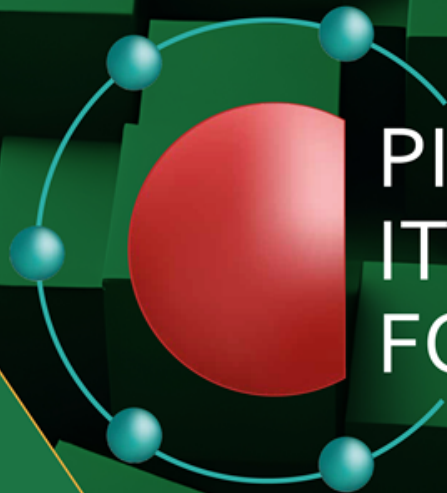
in collaborazione con:



**Ministero dell'Ambiente
e della Sicurezza Energetica**

**11 MAR
2026**

Auditorium
Ministero dell'Ambiente
e della Sicurezza Energetica



**PIATTAFORMA
ITALIANA DEL
FOSFORO**



Chi siamo

RE-CORD è un **centro di ricerca** privato e non-profit i cui membri sono:



Le nostre **attività di ricerca** indipendenti supportano l'**industria** nello sviluppo di **processi sostenibili innovativi** per il recupero di **energia rinnovabile** e **materia di valore**.



Valorizzazione di biomasse & rifiuti per via termo-chimica



Bioenergia e biocombustibili



Produzione e valutazione di fertilizzanti *biobased*



Decarbonizzazione del settore industriale



Attività accademica



Consulenza sulle policy UE



Laboratorio analitico
📍 Scarperia e San Piero (FI)



Area sperimentale REC PARK
📍 Scarperia e San Piero (FI)



Ufficio @UNIFI Dipartimento di ingegneria industriale
📍 Firenze

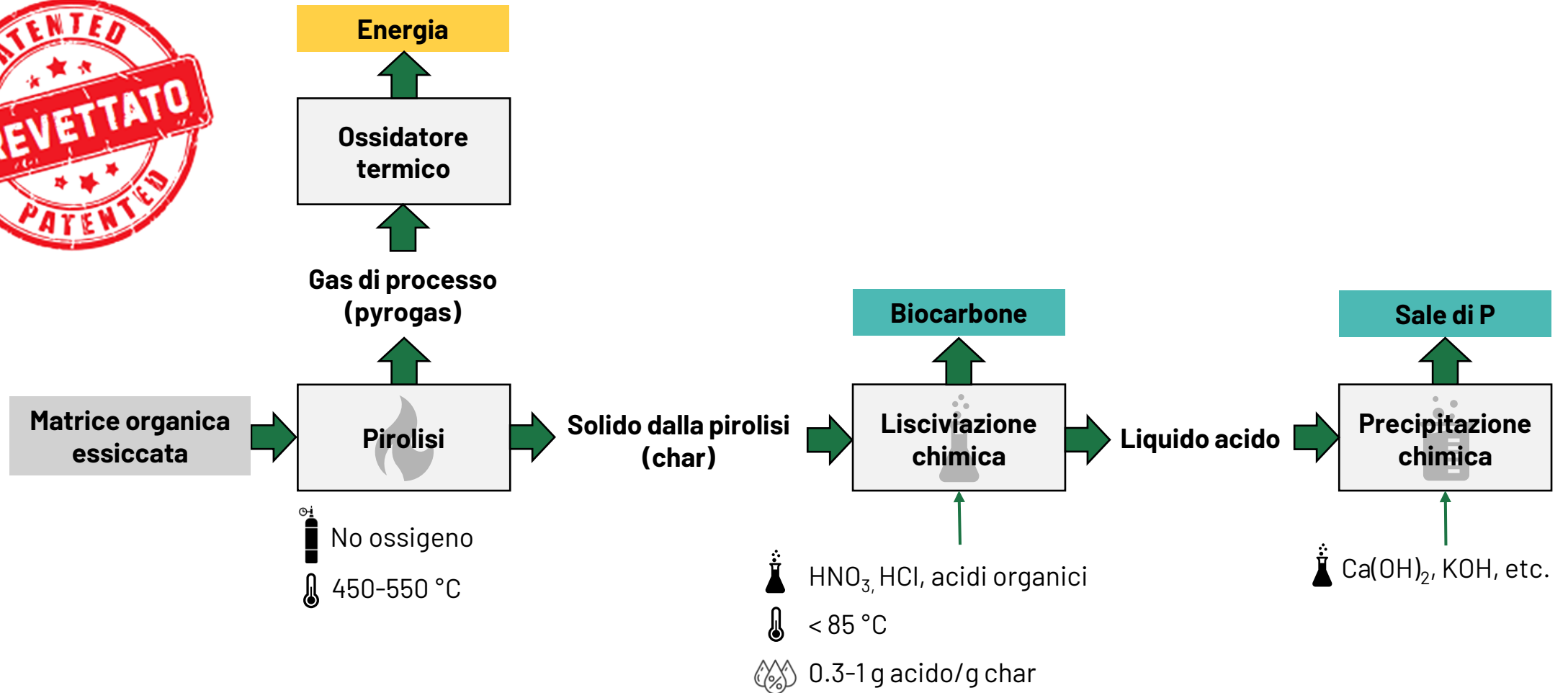
Ufficio @POLITO Dipartimento di ingegneria energetica
📍 Torino



Area sperimentale agronomica
📍 San Casciano Val di Pesa (FI)

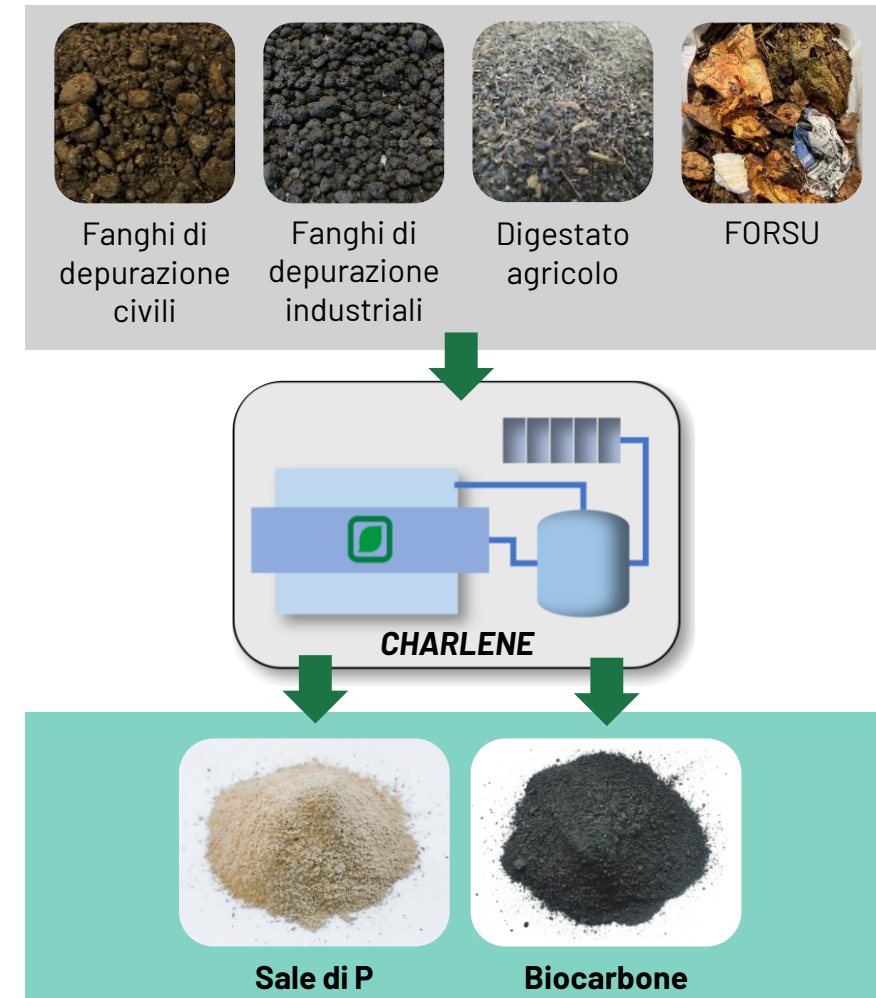


Il processo «CHARLENE» 1/2

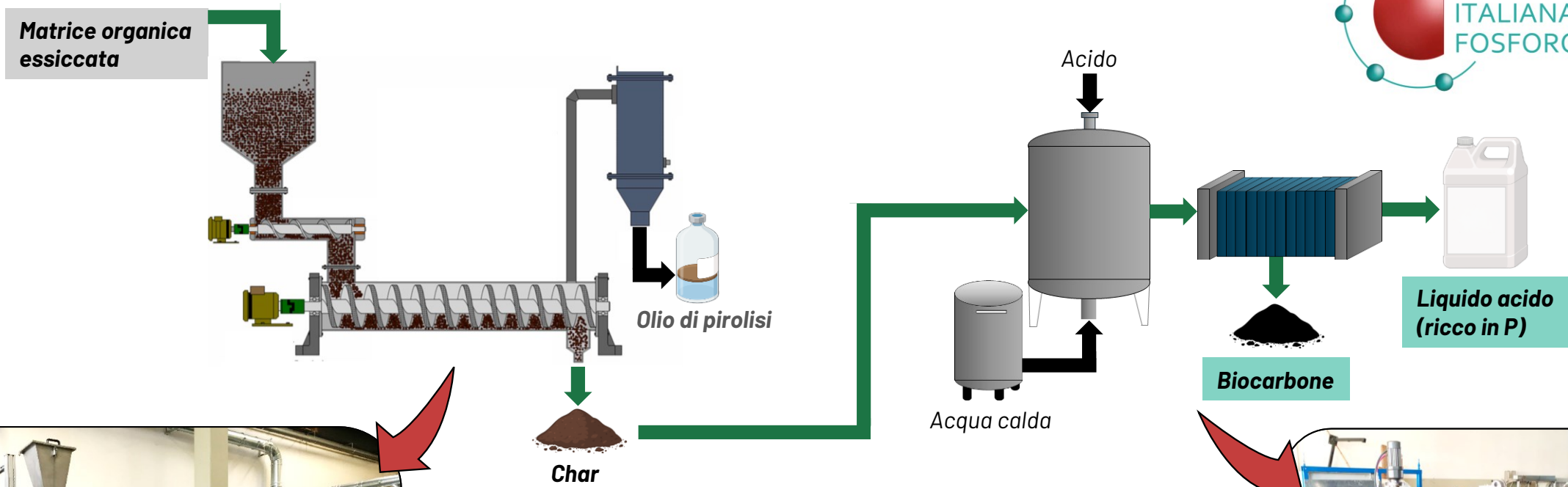


Il processo «CHARLENE» 2/2

- ✓ L'**energia termica** dalla pirolisi viene riutilizzata per il processo stesso, con un netto disponibile per l'**essiccamento**
- ✓ Il **solido pirolizzato** (char) contiene fino al **65 % ceneri**, e ha un'elevata concentrazione di **fosforo (P)**
- ✓ Il contenuto di ceneri del char è ridotto del **40-80 %**
- ✓ Il processo di **lisciviazione** del char consente il **recupero (> 95%) di P**
- ✓ Il char viene convertito in un **biocarbone** a ridotto contenuto di P da utilizzare come (1) sostituto del carbone fossile/antracite in **metallurgia**, (2) **adsorbente** o (3) **additivo** nel settore cementizio
- ✓ Il **fosforo (P)** è recuperato sotto forma di **liquido acido** e, successivamente, di **sale** contenente **> 15 % P_2O_5**
- ✓ Il **sale di P** ottenuto può essere utilizzato come:
 - sostituto della **roccia fosfatica**, o
 - **fertilizzante inorganico**
- ✓ Il processo è **adattabile** alla matrice in ingresso



CHARLENE su scala pilota



Impianto di pirolisi
Fino a 5 kg/h in ingresso



Impianto di lisciviazione
Reattore da 50 L

Matrici organiche testate



Fanghi industriali



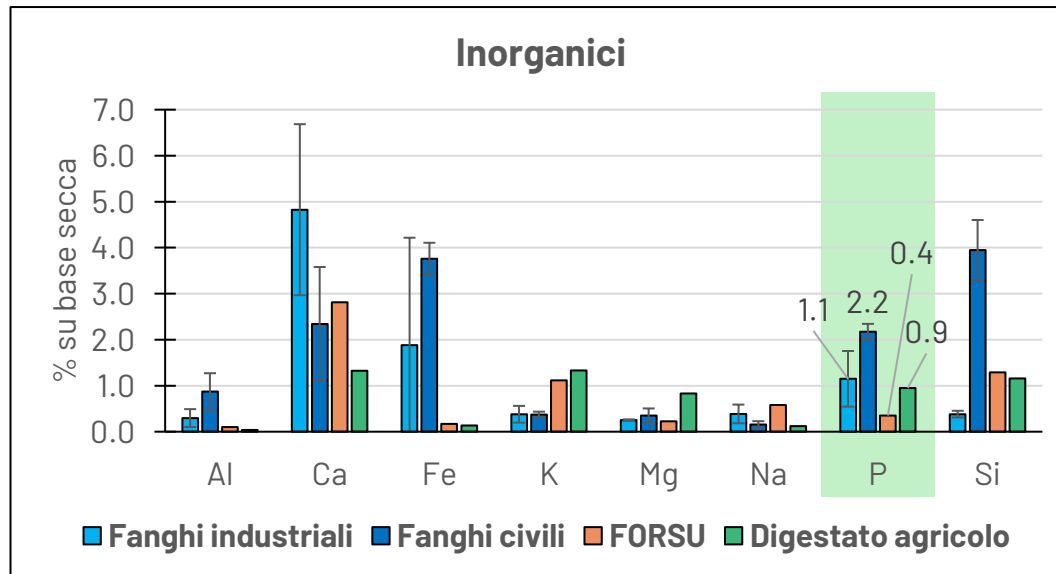
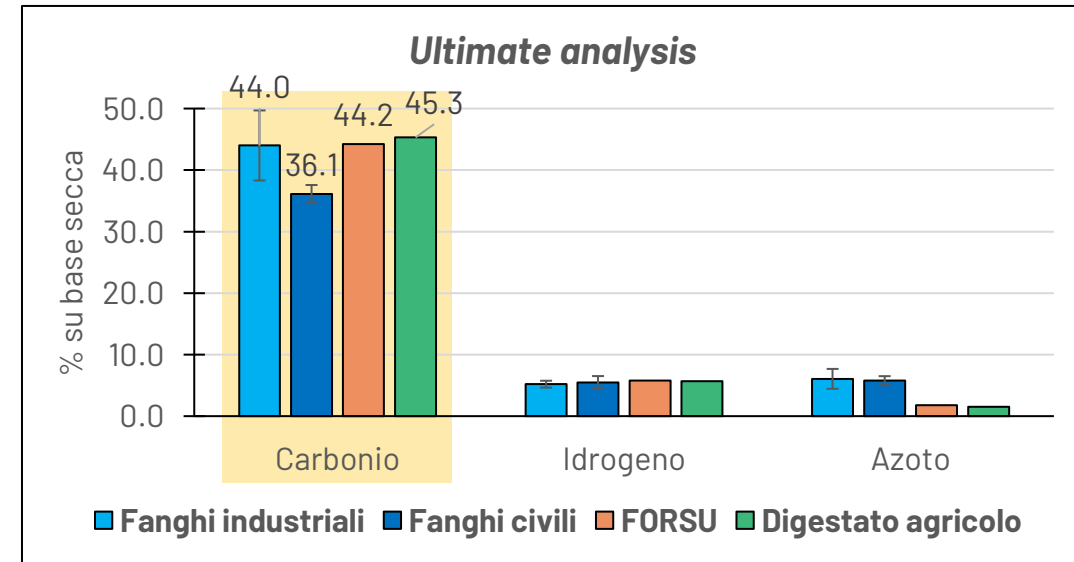
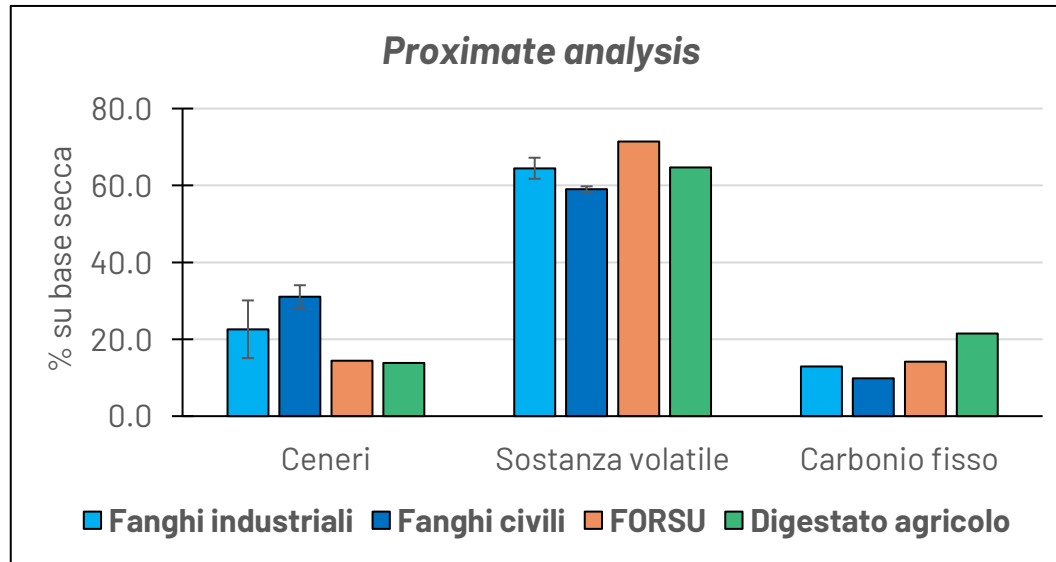
Fanghi civili



FORSU



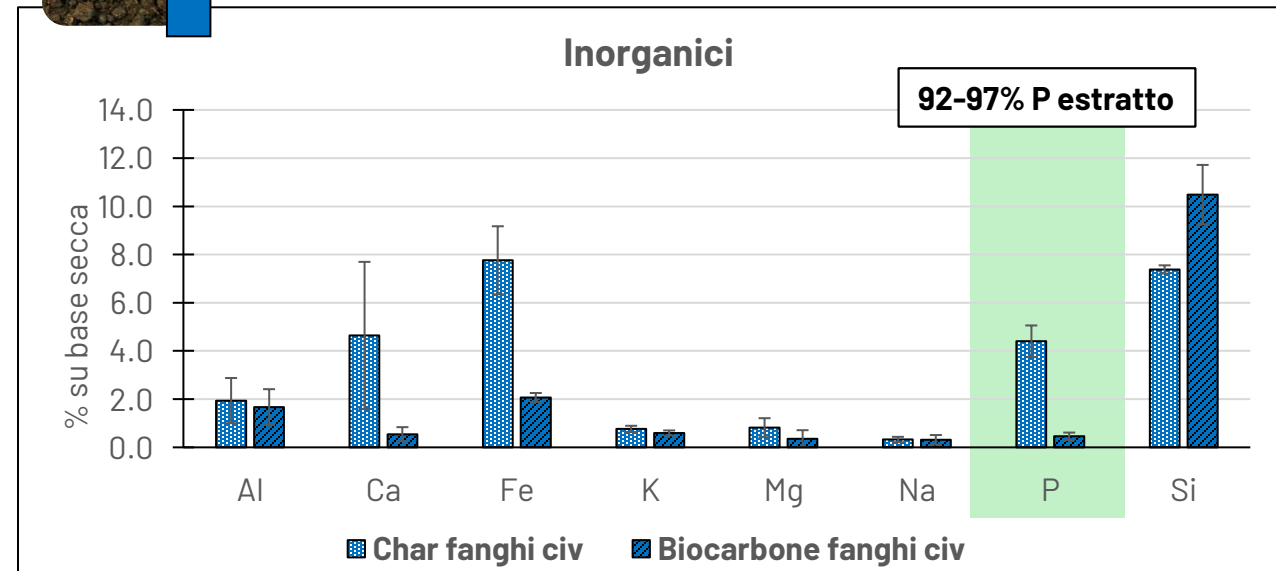
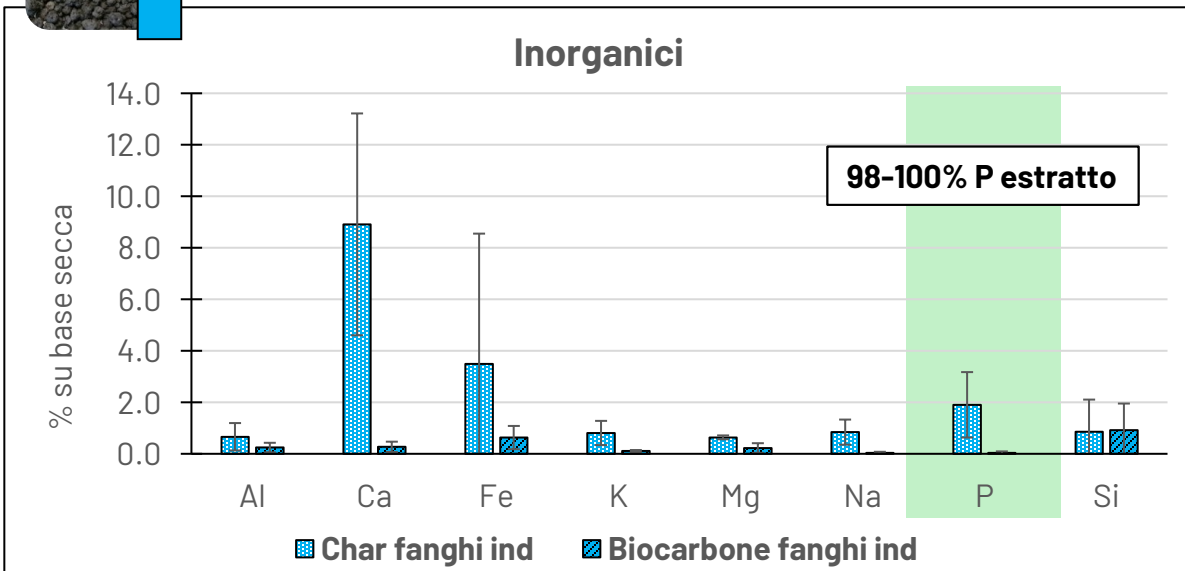
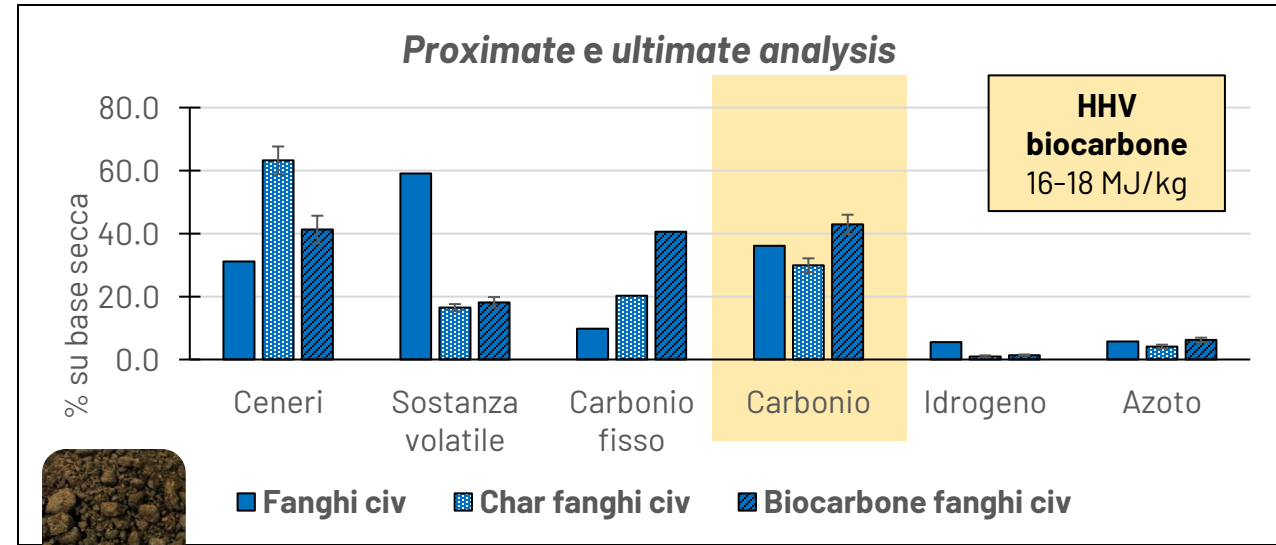
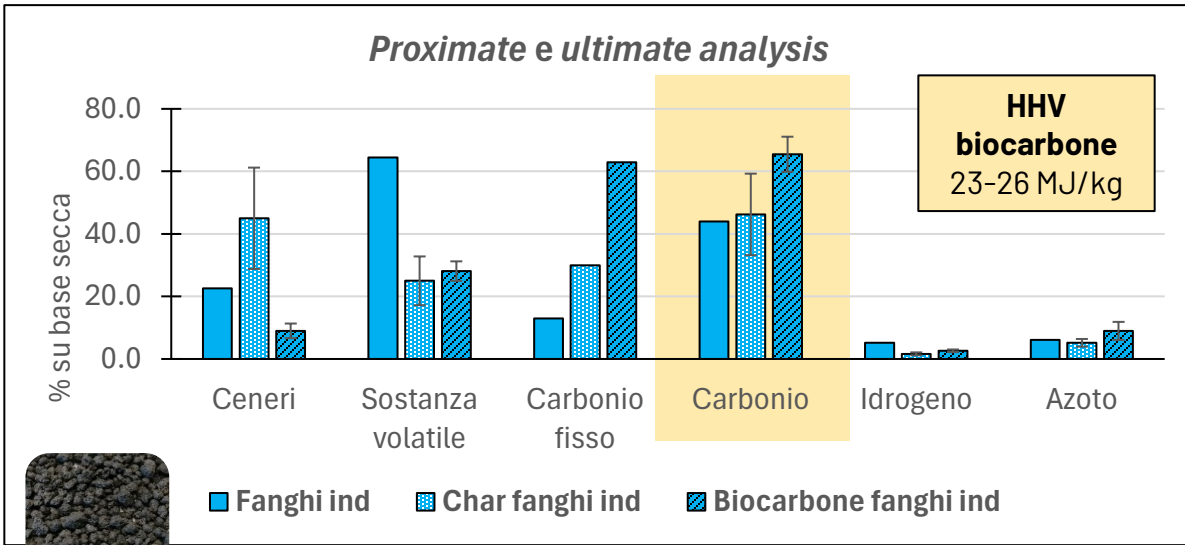
Digestato agricolo



Metalli pesanti

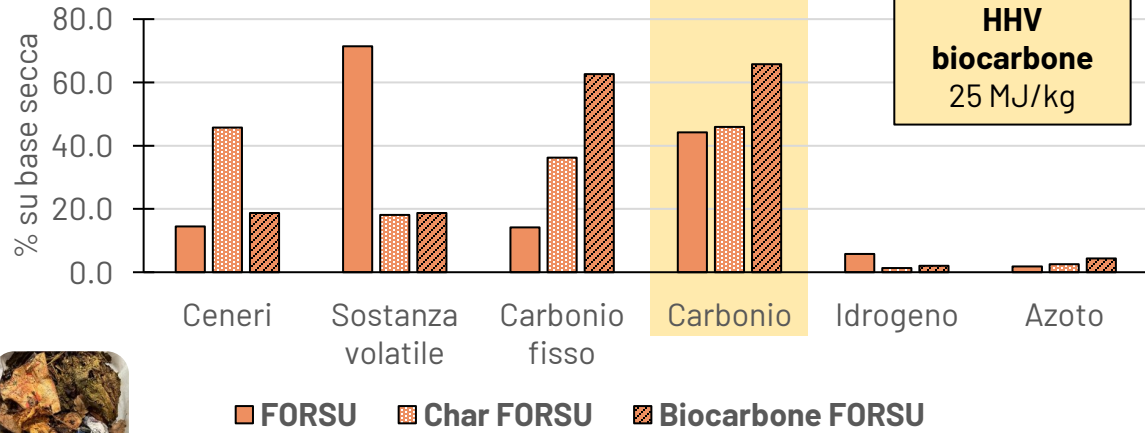
| Fanghi industriali | Fanghi civili | FORSU | Digestato agricolo |
|---------------------|----------------------|-------------|--------------------|
| • Cd b.d.l. | • Cd b.d.l. | • Cd b.d.l. | • Cd b.d.l. |
| • Cr 15-50 | • Cr 35-90 | • Cr 10 | • Cr <5 |
| • Cu 1-15 | • Cu 245-410 | • Cu 24 | • Cu 25 |
| • Ni b.d.l. | • Ni b.d.l. | • Ni b.d.l. | • Ni <5 |
| • Pb b.d.l. | • Pb b.d.l. | • Pb b.d.l. | • Pb <5 |
| • Zn 150-415 | • Zn 700-1170 | • Zn 35 | • Zn 88 |

Confronto tra char e biocarbone da FANGHI INDUSTRIALI e CIVILI

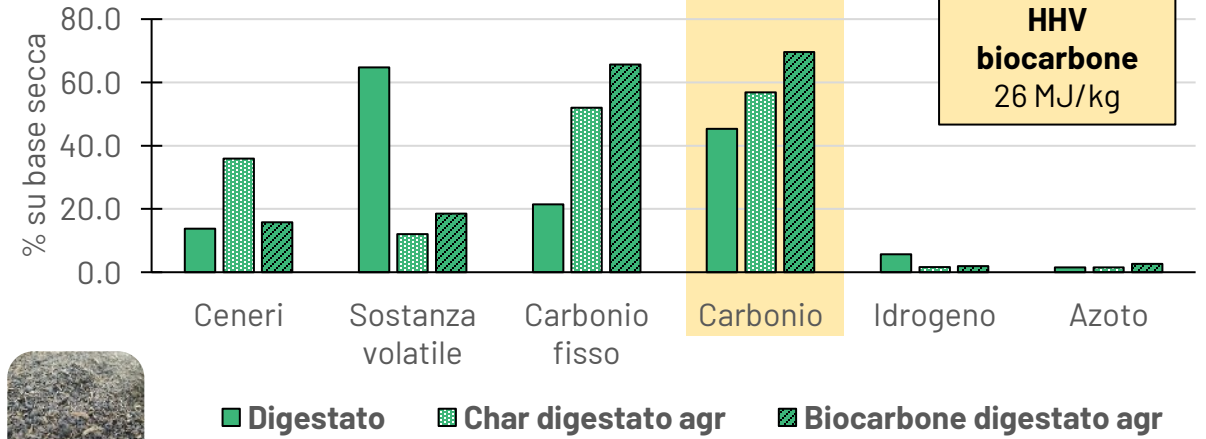


Confronto tra char e biocarbone da FORSU e DIGESTATO AGRICOLO

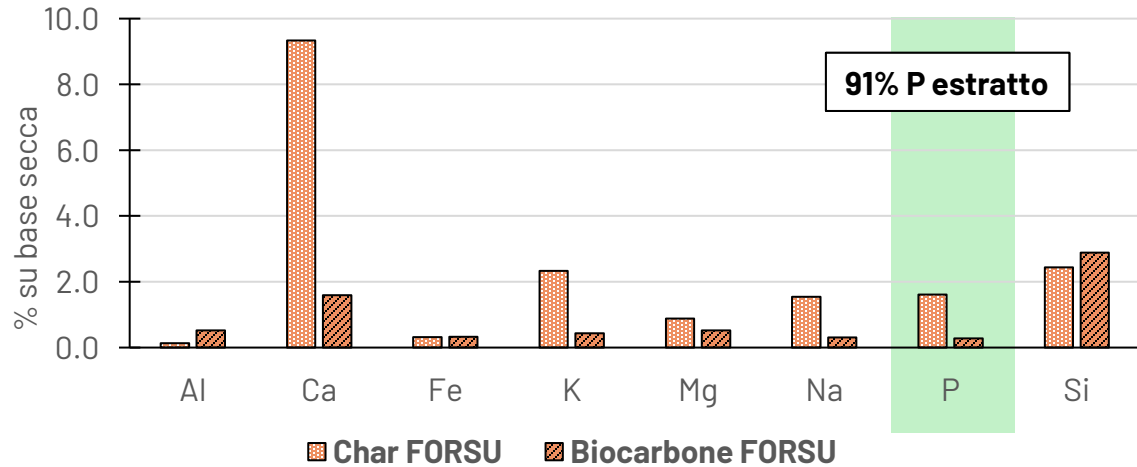
Proximate e ultimate analysis



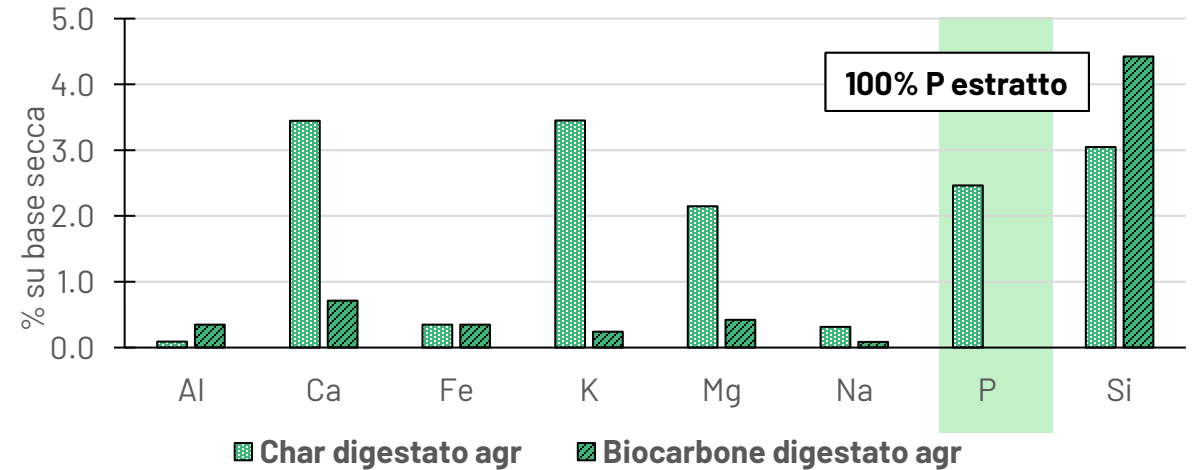
Proximate e ultimate analysis



Inorganici



Inorganici



Composizione e qualità dei sali di P ottenuti



Sale di P

- ✓ Fertilizzante inorganico a base di P
- ✓ Sostituto *biobased* della **roccia fosfatica** per produzione di fertilizzanti



| Parametro | PFC 1(C)(I)(a)(i): CONCIME INORGANICO SOLIDO SEMPLICE A BASE DI MACROELEMENTI | Sale da fanghi | Sale da digestato |
|-------------|---|----------------|-------------------|
| Opzione a) | 1 macroelemento (N, P, K, Ca, Mg, Na, S) | | |
| P205 | > 12% | 8-28 % | 14-29 % |
| Cd | < 3 mg/kg / < 60 mg/kgP205 | b.d.l. | b.d.l. |
| CrVI | < 2 mg/kg | < 2 mg/kg | < 2 mg/kg |
| Ni | < 100 mg/kg | ≤ 15 mg/kg | b.d.l. |
| Pb | < 120 mg/kg | ≤ 0-160 mg/kg | b.d.l. |
| Cu | < 600 mg/kg | 0-360 mg/kg | 28-130 mg/kg |
| Zn | < 1500 mg/kg | 880-1780 mg/kg | 470-980 mg/kg |

| Parametro | CMC 12: PRECIPITATI DI SALI DI FOSFATO E LORO DERIVATI | Sale da fanghi | Sale da digestato |
|--------------------------|--|----------------|-------------------|
| P205 | > 16% | 8-28 % | 14-29 % |
| Al+Fe | < 10% | 0.3-15 % | 0.3-1 % |
| Corg | < 3% | < 3% | < 3% |
| Impurità > 2 mm | < 5 mg/kg | assenti | assenti |
| Parametri microbiologici | Assenti / 100 UFC/g / 1000 UFC/g | assenti | assenti |
| IPA16 | < 5 mg/kg | assenti | assenti |

Barriere e obiettivi sui fanghi di depurazione civili

- Alto contenuto di **Al/Fe** nel sale
 - **Separazione** di Fe/Al dal P
 - Recupero Fe e Al come **prodotti di valore**
 - Produzione fertilizzante solubile con **elevato contenuto di P**
- Alto contenuto di **SiO₂** nel biocarbone
 - Incremento contenuto di **C** nel biocarbone **> 50 %**
- **Porosità** del biocarbone per applicazione come adsorbente
 - **Attivazione** del biocarbone per via fisica/chimica
 - Pirolisi con **additivo**

Work in progress: processo **CHARLENE 2.0**



Lisciviazione multi-stadio:

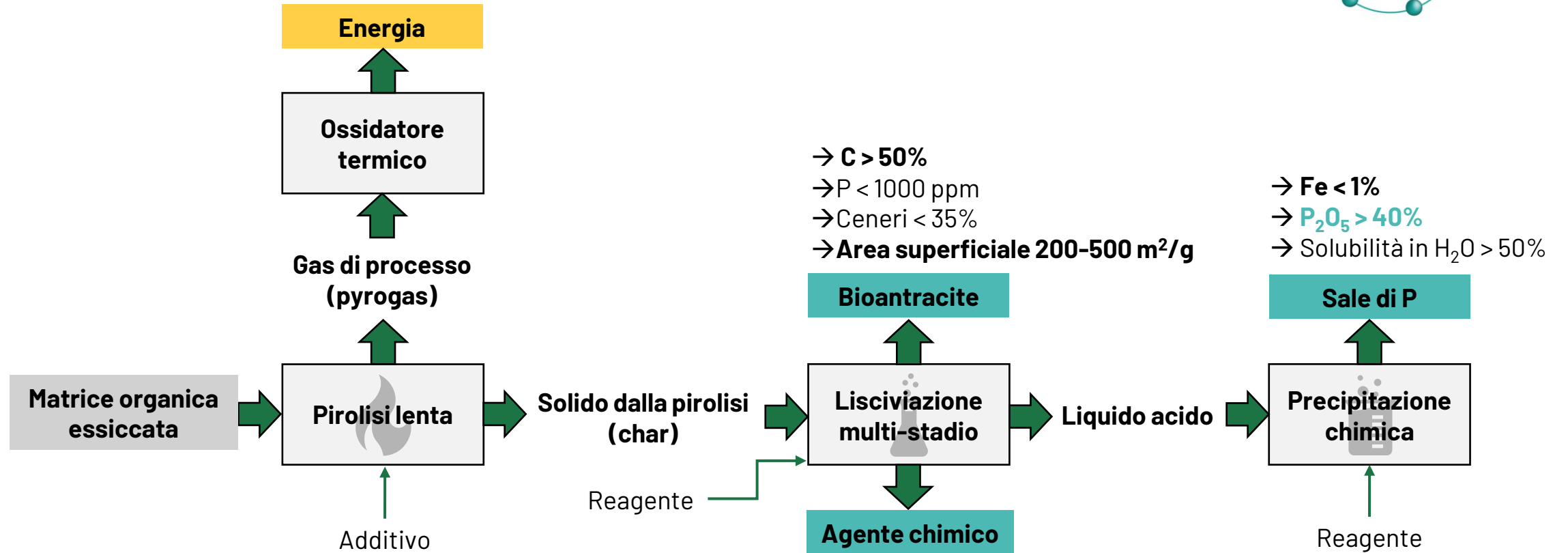
22% Fe recuperato nel secondo stadio con HCl

Precipitazione multi-stadio:

a pH=4, **> 99% P e Fe** nel sale

EDTA + precipitazione multi-stadio:

a pH=4, **97% P e 42% Fe** nel sale



Work in progress 2/2



Cella climatica

Prove di applicazione del sale di P

- In vaso → in campo
- Uso diretto
- Uso come fertilizzante liquido



Impianto di pirolisi
Fino a 50 kg/h in ingresso

In fase di collaudo



Impianto di lisciviazione
Reattore da 500 L

Grazie per l'attenzione!



www.re-cord.org

Marta Di Bianca

R&D Engineer | Raw materials & carbon recycling

✉ marta.dibianca@re-cord.org

Andrea Salimbeni, PhD

Head of Unit | Raw materials & carbon recycling

✉ andrea.salimbeni@re-cord.org

The background is a dark green field of irregular, overlapping paper-like shapes. In the upper left, a red sphere is partially enclosed by a blue circular orbit with four blue spheres. To the right, a teal card displays the number '15', the letter 'P', and the word 'Phosphorous'.

PIATTAFORMA ITALIANA DEL FOSFORO

✉ info@piattaformaitalianafosforo.it

piattaformaitalianafosforo.it

A white QR code on a dark background.

La Piattaforma Nazionale del Fosforo
è una iniziativa promossa dal
Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica