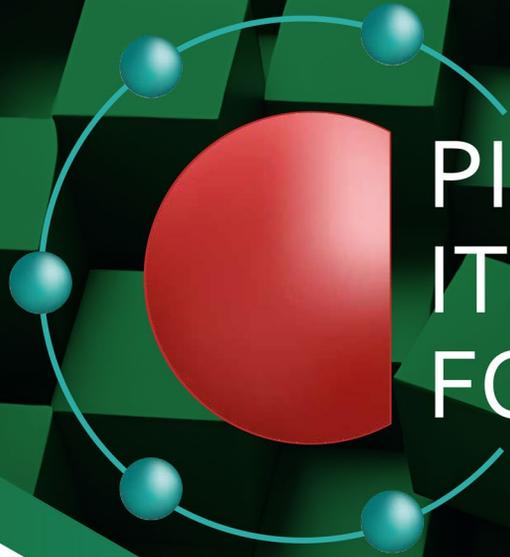


ENEA

Workshop



PIATTAFORMA ITALIANA DEL FOSFORO

Il fosforo come materia prima critica: PROSPETTIVE TECNOLOGICHE, NORMATIVE E DI MERCATO



in collaborazione con:



**POLITECNICO
MILANO 1863**

**Politecnico
di Milano**

**CAMPUS LEONARDO
Aula Rogers**

Piazza Leonardo Da Vinci, 32
20133 Milano

**16
17
OTT
2024**



Sfide e opportunità nella ricerca di soluzioni innovative per il recupero del fosforo da fanghi di depurazione e prodotti derivati

Andrea Turolla

Workshop «IL FOSFORO COME MATERIA PRIMA CRITICA:
PROSPETTIVE TECNOLOGICHE, NORMATIVE E DI MERCATO»

16 ottobre 2024

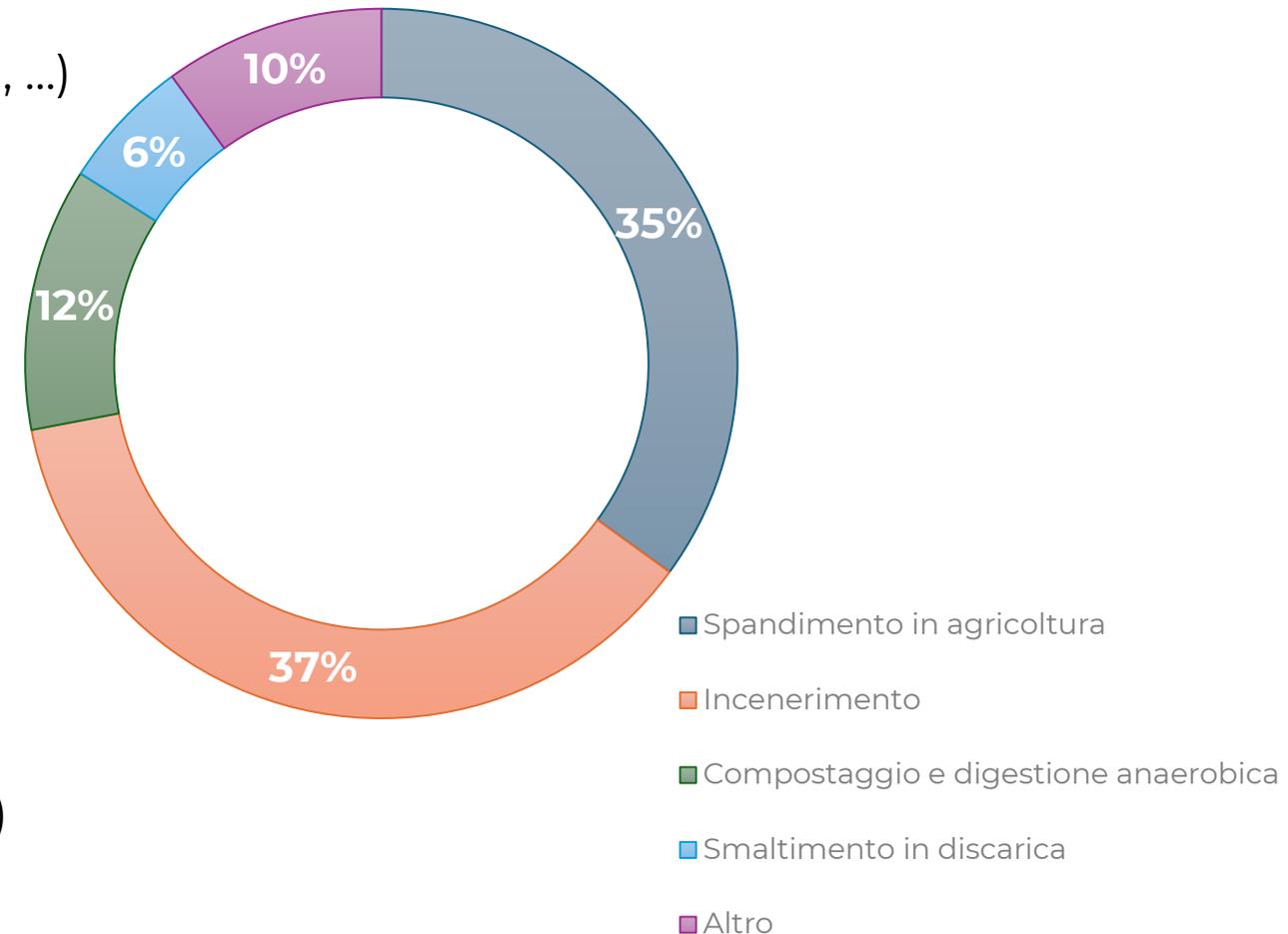
Razionale e struttura della presentazione

- Quali sfide?
- Quali opportunità?
- Le prospettive future
- I colli di bottiglia da superare

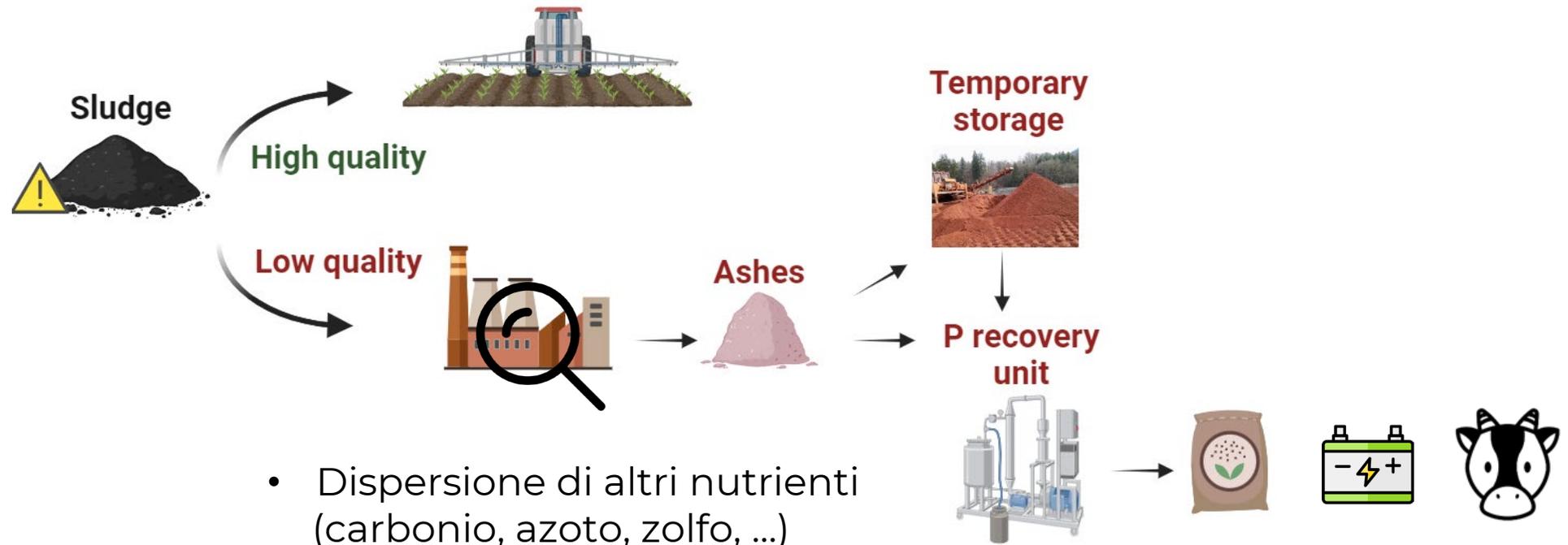


Quali sfide? | Il contesto

- Normativa in evoluzione a diversi livelli: limiti aggiuntivi su composti inquinanti non normati (PPCP, EDC, POP, MP, patogeni, ...)
- Spandimento in agricoltura in contrazione, trend in accelerazione nei prossimi anni
- Incenerimento (quasi) unica alternativa consolidata per trattamento dei fanghi
- Necessità di recuperare materia in linea con Green Deal (industria del cemento è un downcycle rispetto a metalli e nutrienti)



Quali sfide? | Il contesto



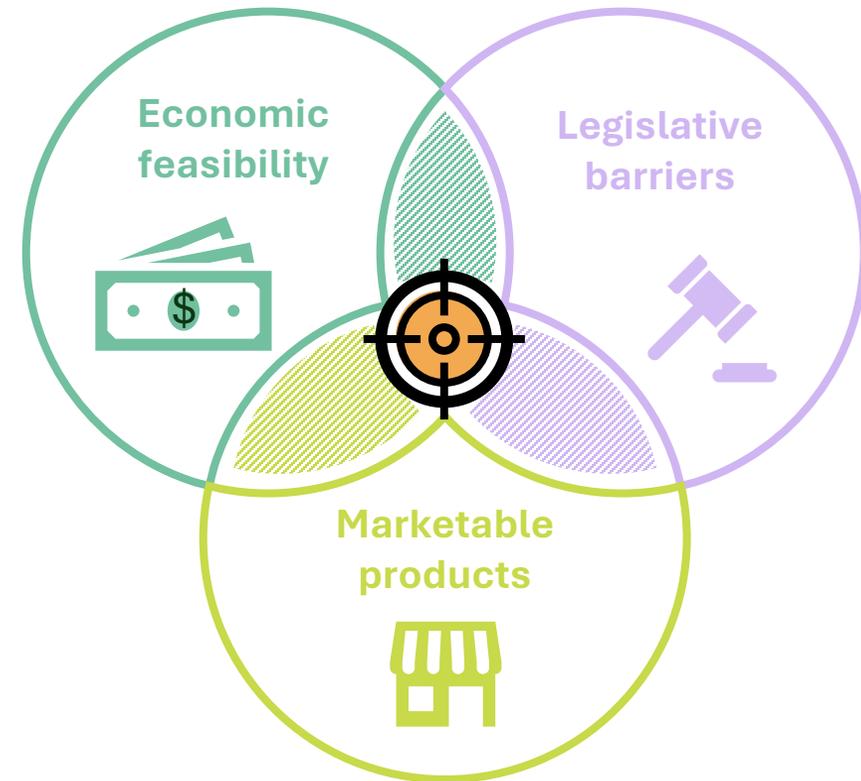
- Dispersione di altri nutrienti (carbonio, azoto, zolfo, ...)
- Controllo su inquinanti

Quali sfide? | I driver per lo sviluppo tecnologico

- Qualità e uso dei prodotti recuperati
- Costi elevati e sostenibilità economica
- Normative e regolamentazioni



Technology development



Quali opportunità? | Le cose che abbiamo capito

- Creazione di solide basi scientifico-tecnologiche per recupero fosforo, studio dei processi di recupero e identificazione di migliore costo/opportunità, tecnologie con TRL in crescita (Ash2Phos, EcoPhos, AshDec, RecoPhos, ...)
- Non esistono soluzioni fit-for-all ma si sono identificate diverse nicchie applicative, i processi di recupero su fanghi non pre-trattati sono scarsamente convenienti
- I processi di recupero si basano solitamente sul medesimo schema processistico:
 - (1) Stadio di pre-trattamento (termochimico o DA) per concentrazione-mobilizzazione
 - (2) Stadio di estrazione (lisciviazione acida o basica, sostituzione elementale, ...)
 - (3) Processo di recupero e purificazione (precipitazione selettiva, scambio ionico, ...)
- I processi di recupero possono essere integrati in contesti di simbiosi industriale

Quali opportunità? | Le cose da fare: verificare e validare le tecnologie



- Sviluppo di dimostratori con progettualità multi-stakeholder
- Adozione di metriche di valutazione standardizzate (a partire dall'esistente *) e condivisione trasparente dei risultati ottenuti nel corso delle prove in campo
- Riconoscimento dei punti critici delle tecnologie e dei punti di miglioramento al fine di identificare le rispettive nicchie applicative

* Hušek et al. (2022). Journal of Environmental Management 315, 115090

Quali opportunità? | Le cose da fare: adottare visioni multi-obiettivo



- Gestione dei fanghi e minimizzazione dei flussi di rifiuto complessivi
- Recupero di energia e materia, non solamente del fosforo
- Minimizzazione del rischio per gli ecosistemi e gli esseri umani
- Valutazione di tutti gli aspetti della sostenibilità (sociale oltre che ambientale)
- Creazione di soluzioni con la migliore sostenibilità economica possibile (scelta dei business model) all'interno degli iter autorizzativi esistenti

Quali opportunità? | Le cose da fare: sviluppare processi integrati

- Le tecnologie di recupero non esistono come elementi stand-alone
- Costruzione di filiere comprendenti tutti gli stakeholder coinvolti
- Valutazione a scala di impianto e/o di sistema dei processi, con sviluppo di piattaforme integrate per progettare e gestire



Le prospettive future

#1

**OTTIMIZZAZIONE
E SCALE-UP**



#2

**INTEGRAZIONE
DI FILIERA**



#3

NUOVE MATRICI



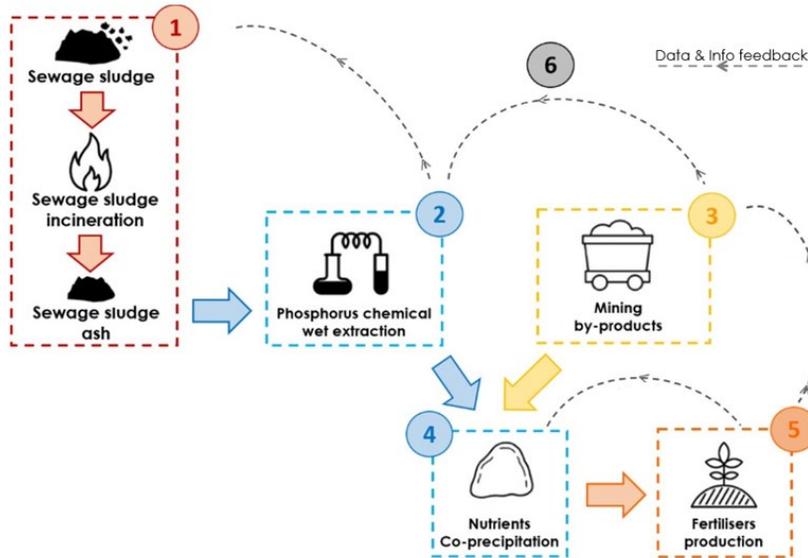
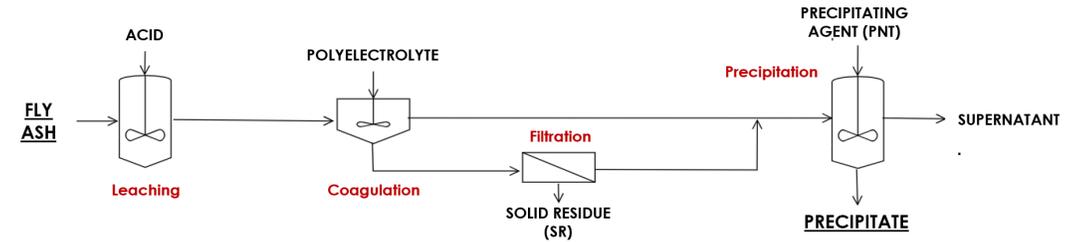
(#1) Ottimizzazione e scale-up

- Migliorare i KPI di riferimento per la sostenibilità dei processi di recupero (rendimento di recupero, costo per unità di prodotto recuperato, ...)
 - Lavorare sui fattori critici limitanti (mobilizzazione elementi, forma, purezza e contaminazione dei prodotti di recupero)
 - Sviluppare dimostratori e applicare metriche di valutazione robuste
-
- > Ottimizzazione di processo (il progetto PHOSTER e il progetto FlashPhos)
 - > Processi innovativi a complemento (mobilizzazione a microonde, materiali per scambio ionico)
 - > Avanzamento del TRL delle tecnologie (recupero di vivianite, processi elettrochimici)

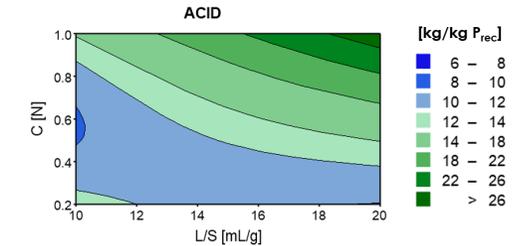
(#1-A) Ottimizzazione e scale-up | Il progetto PHOSTER



- Integrazione e ottimizzazione di processo
- Simbiosi industriale (con l'industria mineraria)
- Integrazione dell'intera catena di valore



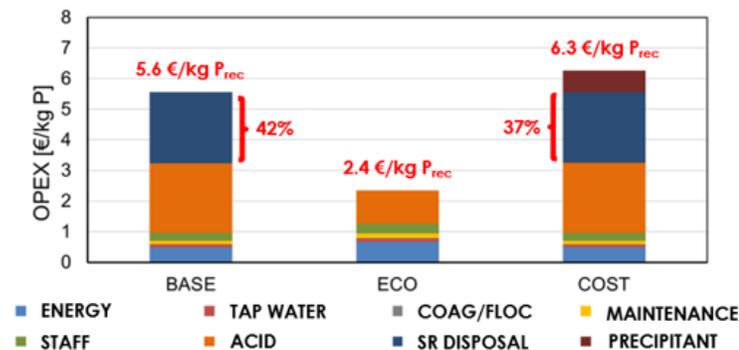
OPEX	€/kg P _{rec}
P _{product}	%P
η _{recovery}	%
ACID	kg/kg P _{rec}
SR	kg/kg P _{rec}
PNT	kg/kg P _{rec}



Compliant with EU 2019/1009

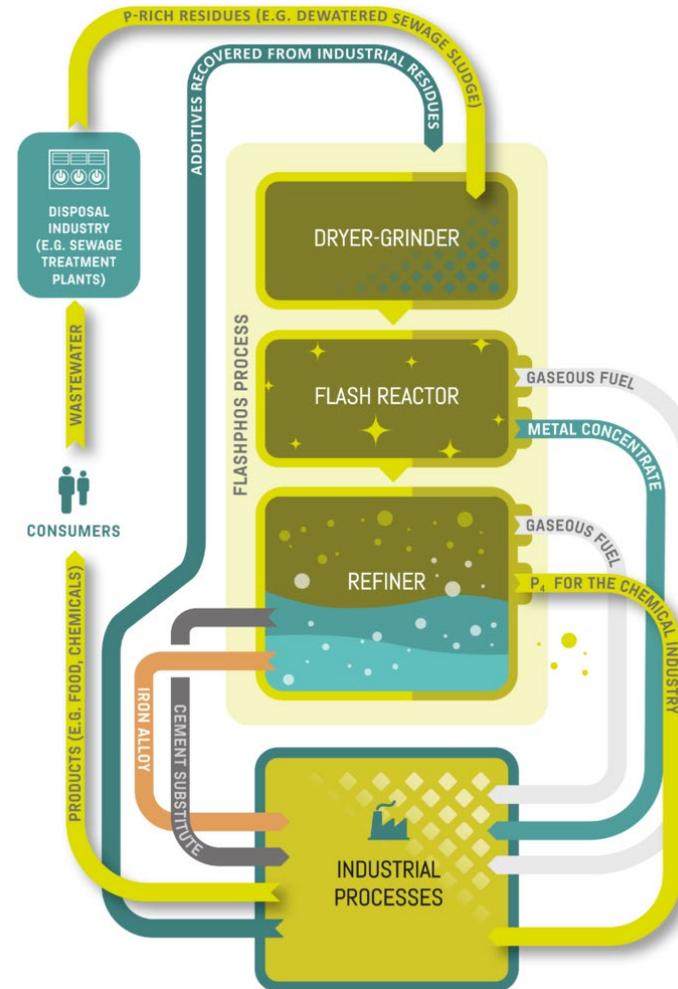
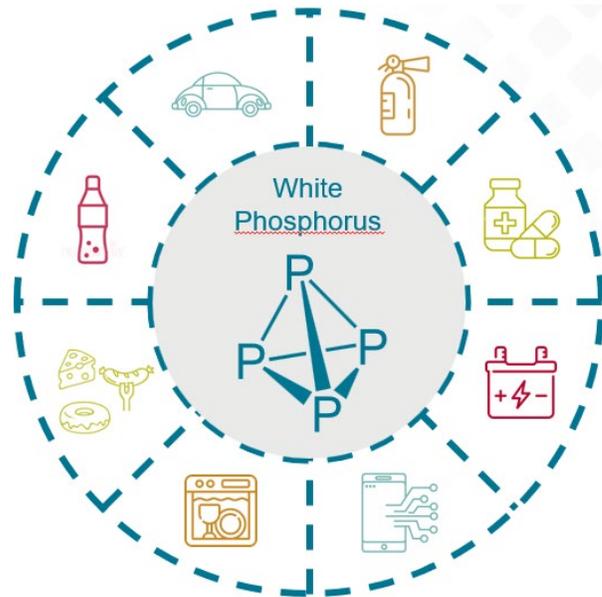


Element	U.M.	H ₂ SO ₄ Ca(OH) ₂	H ₂ SO ₄ PCB	HCl Ca(OH) ₂	HCl PCB	EU 2019/1009
CMC	-	CMC12	CMC1	CMC12	CMC1	-
Specific weight	kg/dm ³	0.38	0.57	0.54	0.46	-
pH	-	8.60	9.45	6.01	10.10	-
Solubility	%	44.40	34.30	8.80	22.30	-
Total Nitrogen	%	0.31	0.41	0.35	0.37	-
Urea Nitrogen	%	0.21	0.32	0.27	0.25	-
Ammoniacal Nitrogen	%	0.11	0.11	0.11	0.11	-
Nitrate Nitrogen	%	-	-	-	-	-
Total P as P ₂ O ₅	%	11.9	8.4	16.4	5.4	-
CaO	%	30.5	7.27	33.60	8.67	-
K ₂ O	%	0.10	0.37	< 0.12*	0.27	-
MgO	%	1.70	28.40	1.39	26.80	-
SO ₃	%	17.5	5.53	3.16	2.15	-
Al	%	1.46	1.36	1.58	0.84	-
As	mg/kg	< 20*	19.50	< 20*	19.40	< 40
B	%	< 10*	< 10*	< 10*	< 10*	-
Cd	mg/kg	5	1.2	< 1*	< 1*	< 60*
Cr	mg/kg	13.0	14.9	12.0	9.8	< 200
Cr(VI)	mg/kg	< 0.5*	< 0.5*	< 0.5	< 0.5*	< 2
Cu	%	0.05	0.03	0.05	0.02	< 600
Fe	%	0.94	1.20	1.12	0.61	-
Hg	mg/kg	< 0.5*	< 0.1*	< 0.5*	< 0.1*	< 1
Mn	%	0.09	0.14	0.12	0.10	-
Mo	%	< 1*	< 1*	< 1*	< 1*	-
Na	mg/kg	680.0	602.0	556.0	472.0	-
Ni	mg/kg	< 40.0*	61.30	< 40.0*	47.80	< 100
Pb	mg/kg	< 50.0*	11.50	< 50.0*	28.90	< 120
Zn	%	0.45	0.42	0.08	0.03	< 0.15



(#1-B) Ottimizzazione e scale-up | Il progetto FlashPhos

- Produzione di P4 di elevate qualità
- Sviluppo di un pilota da 250 kg/h
- Strategia per go-to-market rapido

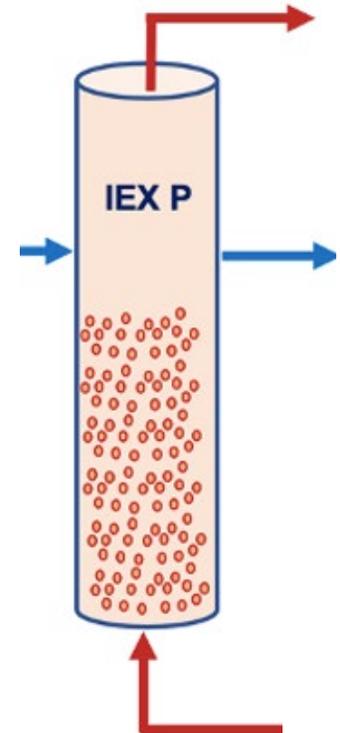
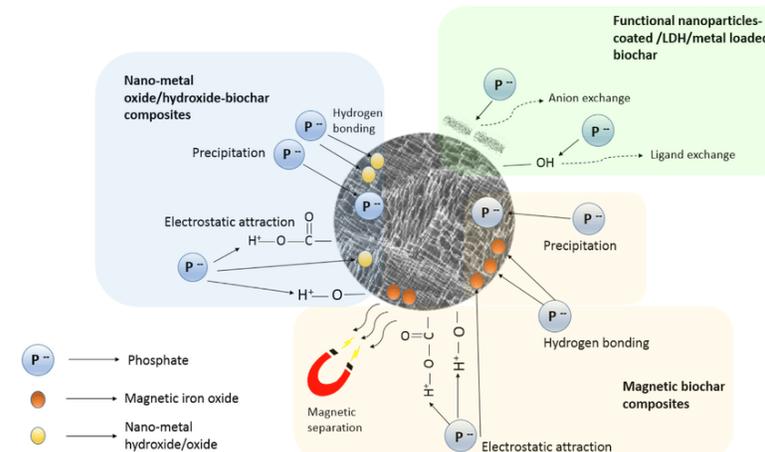
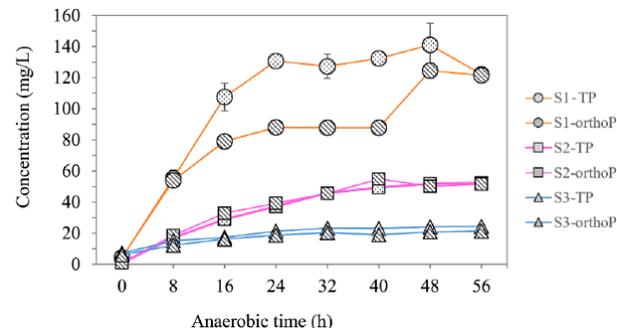
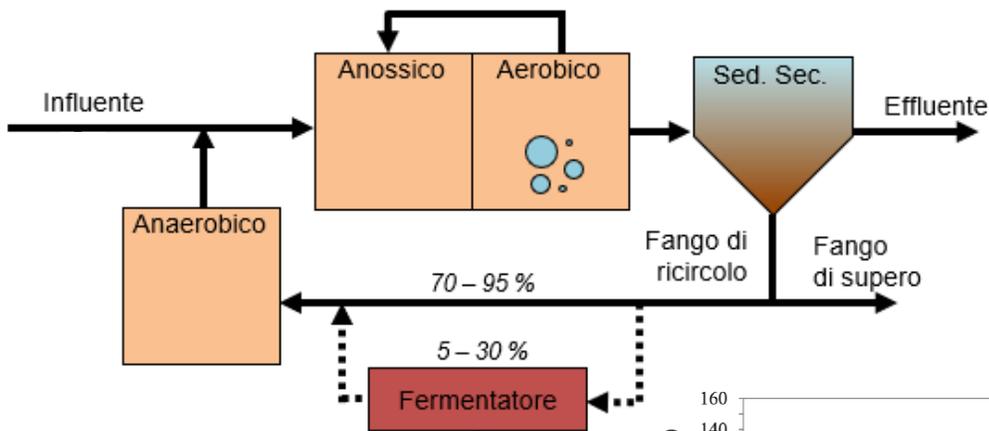


(#2) Integrazione di filiera

- Superamento dei confini del processo di recupero (sinergie/dipendenze)
 - Creazione di filiere complete (dai rifiuti/sottoprodotti ai prodotti/sottoprodotti)
 - Recupero di prodotti con caratteristiche funzionali adeguate all'utilizzo come materiali secondari in applicazione commerciali
-
- > Sviluppo di layout integrati per la rimozione e il recupero del fosforo (rimozione biologica e recupero del fosforo da biomasse fosforo-accumulanti)
 - > Sviluppo di filiere in grado di recuperare tutti i flussi di sottoprodotti per minimizzare i rifiuti e massimizzare le prestazioni del processo
 - > Valutazione delle proprietà funzionali e di sostenibilità (economica, ambientale e sociale) dei prodotti di recupero

(#2) Integrazione di filiera | EBPR combinato con recupero del fosforo

- Riduzione nell'uso dei precipitanti rispettando limiti più stringenti
- Promozione di processi di rimozione biologica dove non previsti (S2EBPR)
- Interesse rinnovato verso processi sviluppati in passato (PHOSTRIP, ...)

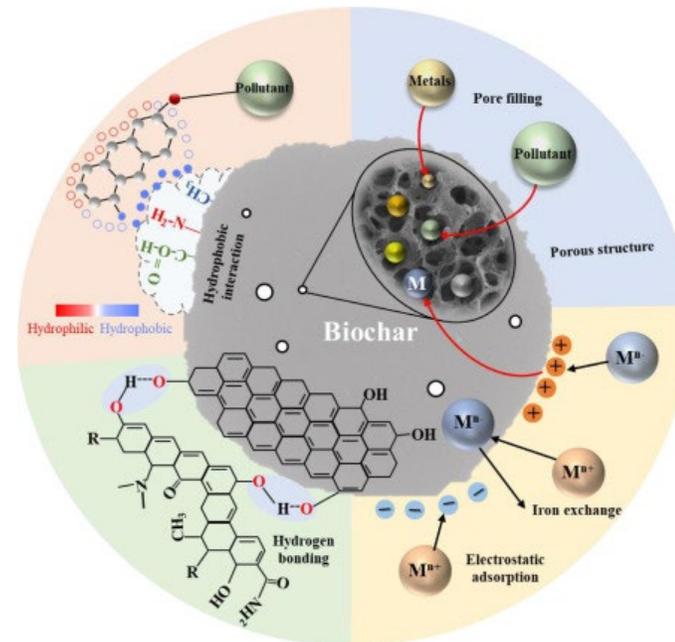


(#3) Nuove matrici

- Estensione del campo di applicabilità delle tecnologie ad altre matrici generate da trattamenti termochimici in diffusione
 - Integrazione con flussi da altre applicazioni per il recupero di prodotti a composizione complessa o per migliorare le prestazioni di processo
 - Sviluppo di processi per la produzione di nuovi prodotti bio-based a basso costo e con proprietà tali da aumentarne il valore (e.g., CCS)
-
- > Recupero del fosforo da processi con recupero dei nutrienti (hydrochar da HTC, biochar da pirolisi e ceneri da gassificazione)
 - > Utilizzo di flussi poco considerati (brine da osmosi inversa, scarti minerari)
 - > Valorizzazione dei digestati (attivazione nutrienti) e delle matrici carboniose (adsorbenti, ...)

(#3) Nuove matrici | Valorizzazione dei fanghi in biochar e hydrochar

- Due processi diversi (secco/umido) con due prodotti diversi
- Recupero del carbonio con diversa tipologia di conversione/stoccaggio
- Gamma degli utilizzi (materiali adsorbenti, ammendanti, ...) e integrazione nei layout di impianto (con pro e contro)
- Comportamento degli altri contaminanti e flussi di sottoprodotti generati



Un paio di considerazioni conclusive

- Si è esplorato tanto, serve mettere a terra processi efficienti e sostenibili con la possibilità di effettuare una selezione forte sulle tecnologie disponibili
- Le nuove innovazioni riguarderanno probabilmente soprattutto il miglioramento, l'adattamento o l'integrazione di soluzioni già emerse
- Ricerca di soluzioni integrate all'interno degli impianti e a scala maggiore (coinvolgimento degli stakeholder, soprattutto l'end user e il decisore politico)
- Conversione tecnologica in funzione delle nuove sfide emerse (riduzione delle emissioni climalteranti, recupero di altri nutrienti, soddisfacimento dei bisogni di nuove industrie o modifica progressiva degli standard industriali)

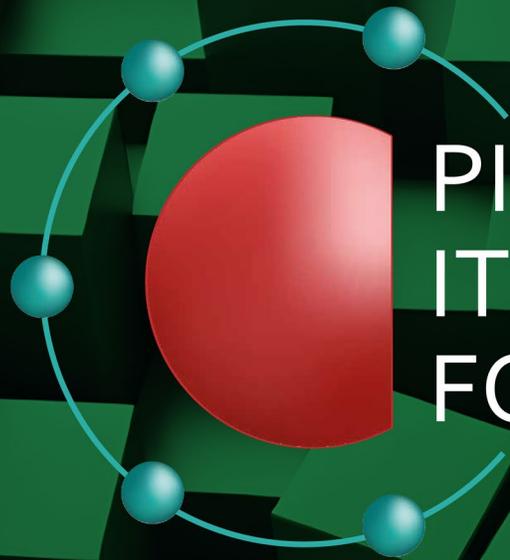


Sfide e opportunità nella ricerca di soluzioni innovative per il recupero del fosforo da fanghi di depurazione e prodotti derivati

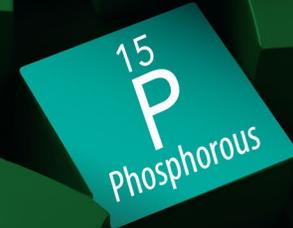
Andrea Turolla

Workshop «IL FOSFORO COME MATERIA PRIMA CRITICA:
PROSPETTIVE TECNOLOGICHE, NORMATIVE E DI MERCATO»

16 ottobre 2024



PIATTAFORMA ITALIANA DEL FOSFORO



info@piattaformaitalianafosforo.it

piattaformaitalianafosforo.it



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