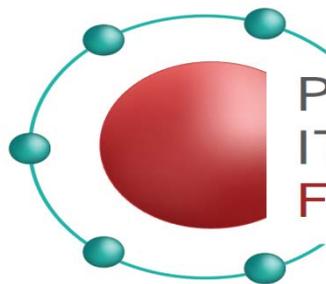


ENEA

Agenzia nazionale per le nuove tecnologie,
l'energia e lo sviluppo economico sostenibile



PIATTAFORMA
ITALIANA DEL
FOSFORO



MINISTERO DELL'AMBIENTE
E DELLA TUTELA DEL TERRITORIO E DEL MARE

Piattaforma Italiana Fosforo

Gruppo di lavoro 2

Tecnologie e buone pratiche per il recupero e la gestione

Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare, Auditorium

Roma, 12 dicembre 2019

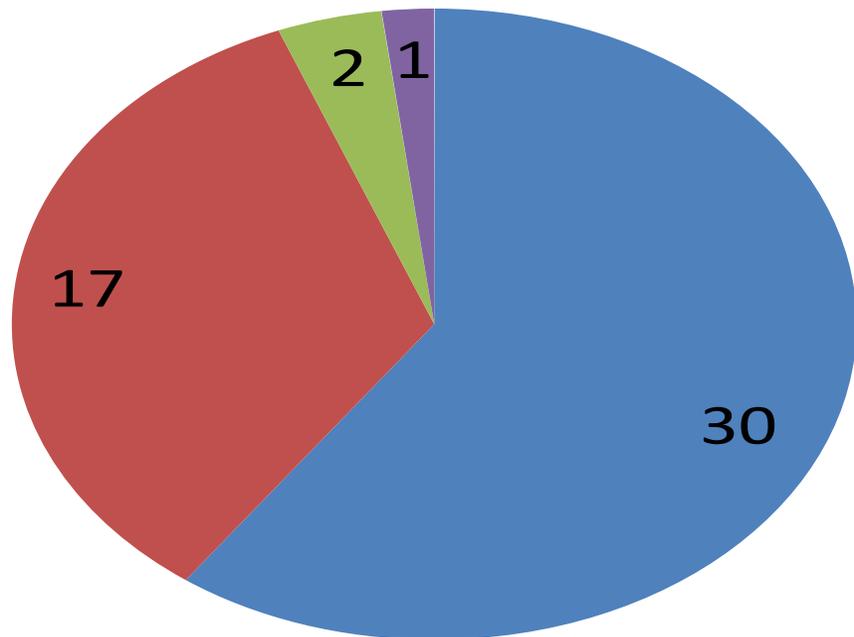
Alessandro Spagni



1101 0110 1100
0101 0010 1101
0001 0110 1110
1101 0010 1101
1111 1010 0000



50 Organizzazioni
95 Persone



- Imprese e associazioni di categoria
- Mondo della ricerca e della formazione
- Istituzioni
- Società civile

1. Indagine all'interno dei partecipanti alla Piattaforma Italiana del Fosforo per verificare le tecnologie e buone pratiche eventualmente disponibili
2. Indagine bibliografica e stato dell'arte delle tecnologie e buone pratiche disponibili ed applicate a livello internazionale

Flusso globale del P, 2000

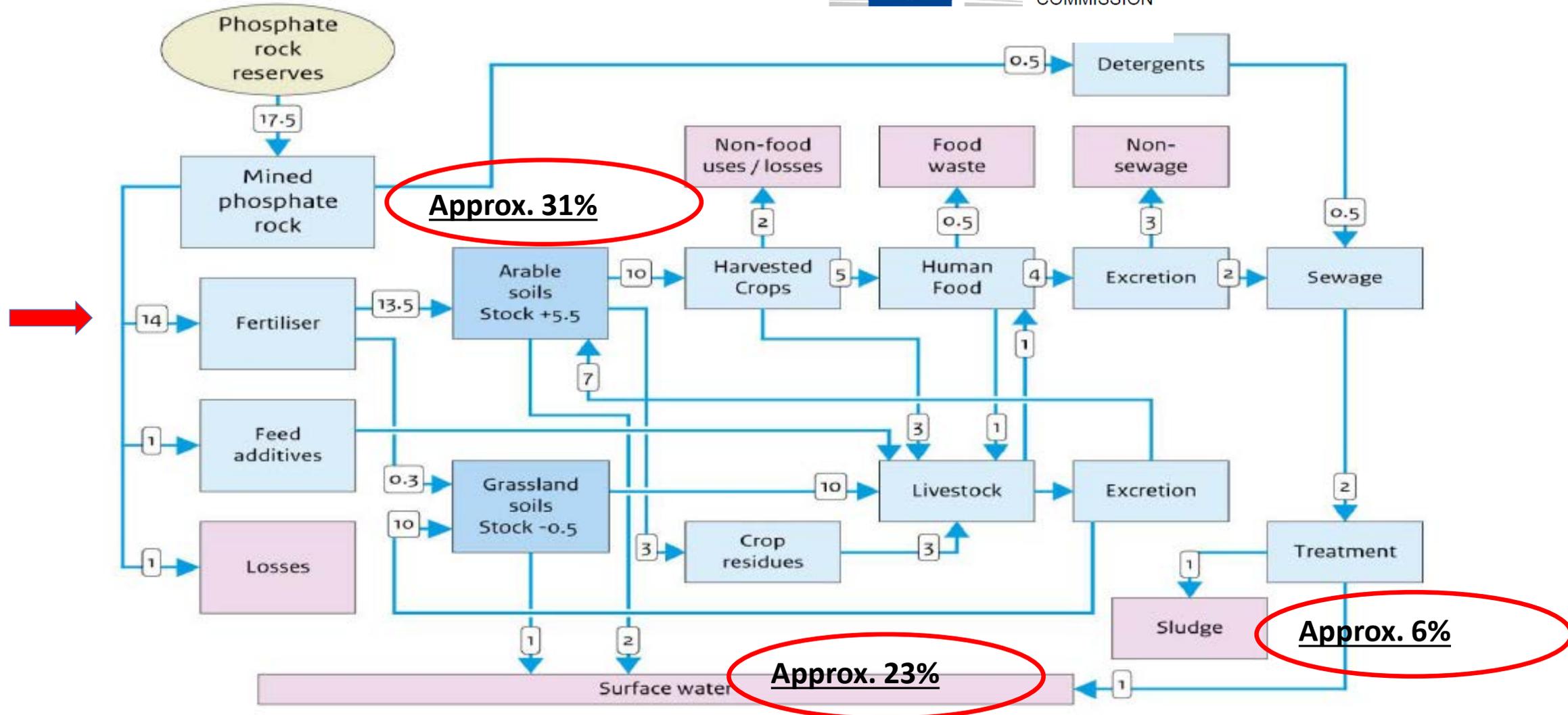
Global phosphorus flows, 2000

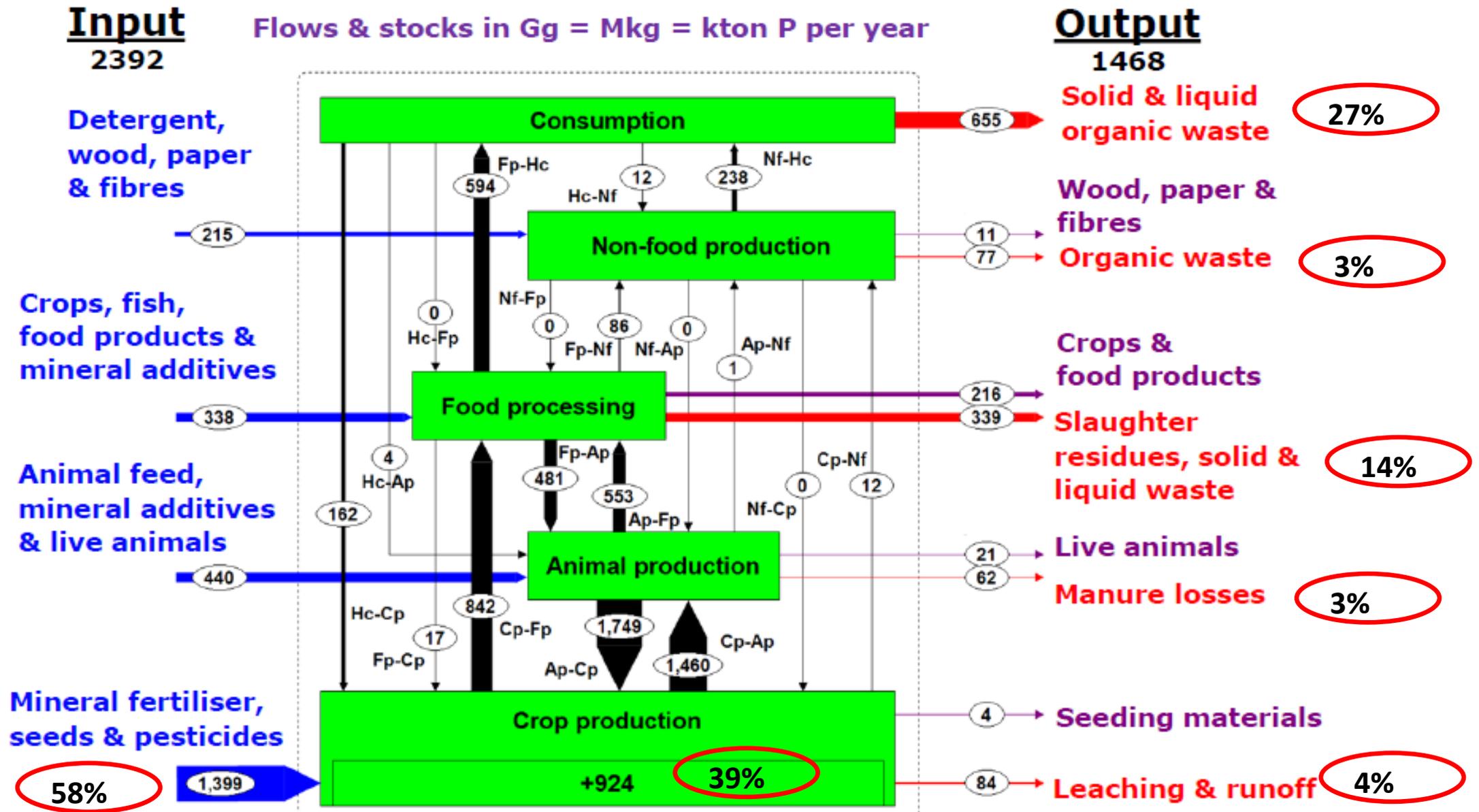
million tonnes P per year



EUROPEAN COMMISSION

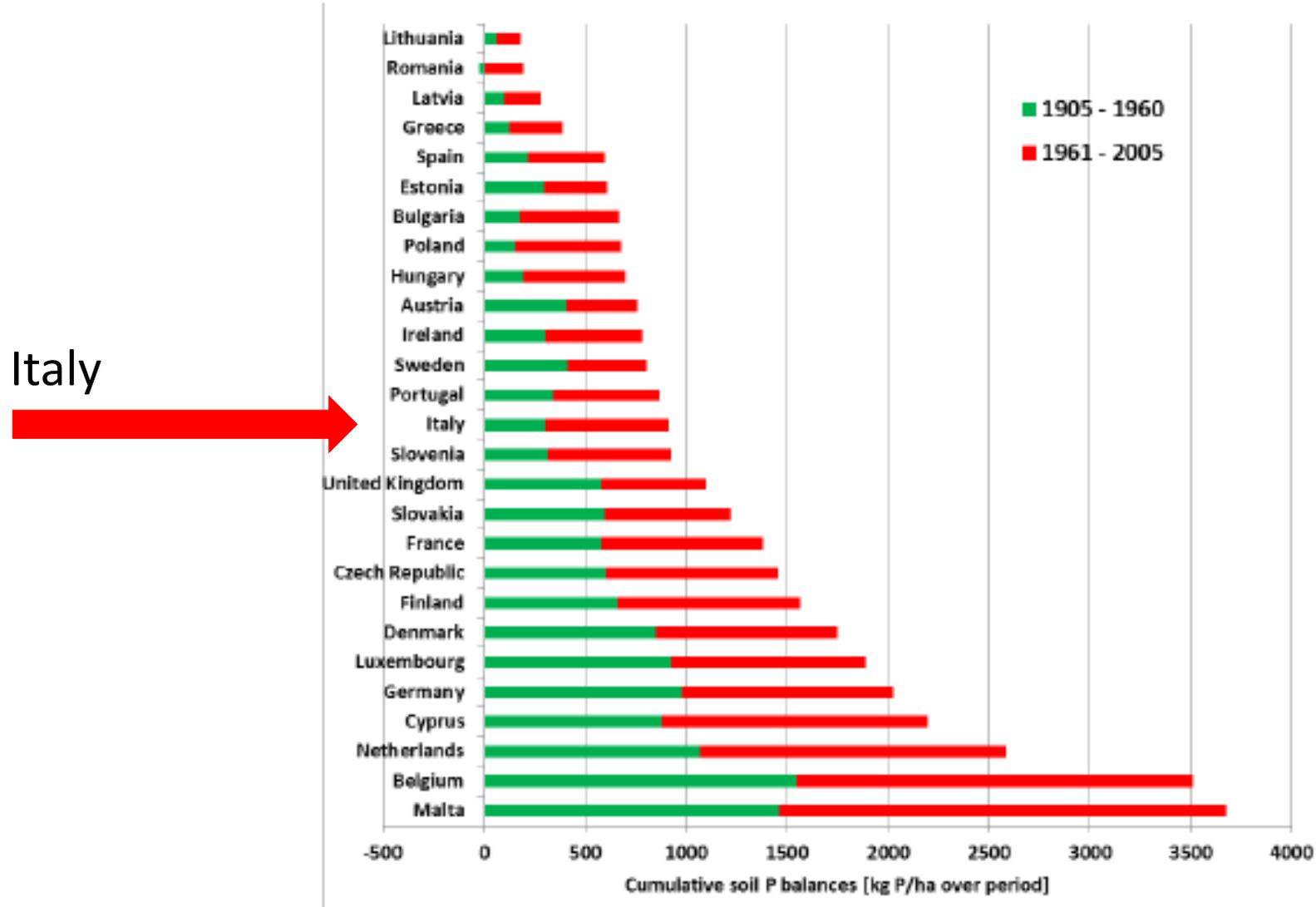
Brussels, 8.7.2013
COM(2013) 517 final





Bilancio del P nel suolo agricolo in EU

128 Mtons P accumulated
in agricultural soils between 1905 -2005



Source:
Van Dijk et al.,

Recupero di fosforo da rifiuti dal P-Rex Project

Example of cases of P recovery plants according to the P-REX Project (Sustainable sewage sludge management fostering phosphorus recovery and energy efficiency, 7PQ).

Data at 2017

Country	Quantity
Germany	13
Denmark	4
Spain	2
The Netherland	10
Japan	10
China	2
...	...
Italia	0

STATO DELL'ARTE E POTENZIALITÀ DELLE TECNOLOGIE DI RECUPERO DEL FOSFORO DAI FANGHI DI DEPURAZIONE

Roberto Canziani^{1,*}, Roberto Di Cosmo¹

Dipartimento di ingegneria civile e ambientale (DICA), Politecnico di Milano.

Figura 3 – Geolocalizzazione dei processi di recupero del P da impianti di trattamento delle acque reflue in Europa. In esercizio (in rosso), pilota (in blu), in costruzione (in verde), pianificati (in giallo)



Schede e documenti ricevuti

21 schede compilate, più altri documenti descrittivi (articoli, flyers, link a pagine web, ecc.).

Delle schede, 9 di queste sono state classificate (dal compilatore) come buone pratiche mentre 10 come tecnologie. Due schede non riportano l'indicazione se buona pratica o tecnologia.

Grado di maturità della tecnologia. Infatti, ben otto esperienze riportano un TRL pari a 9 (Sistema reale provato in ambiente operativo). Per otto schede il TRL non è stato indicato.

TRL	Numerosità
9	8
8	1
7	1
5	1
4	2

REPORT 1: Analisi delle migliori tecnologie disponibili o in fase di studio per il recupero del fosforo da fonti non convenzionali, con particolare riferimento a quelle sviluppate in ambito nazionale ed europeo.

REPORT 2: Analisi delle esperienze realizzate e delle buone pratiche per il recupero e la gestione del fosforo a livello nazionale ed internazionale

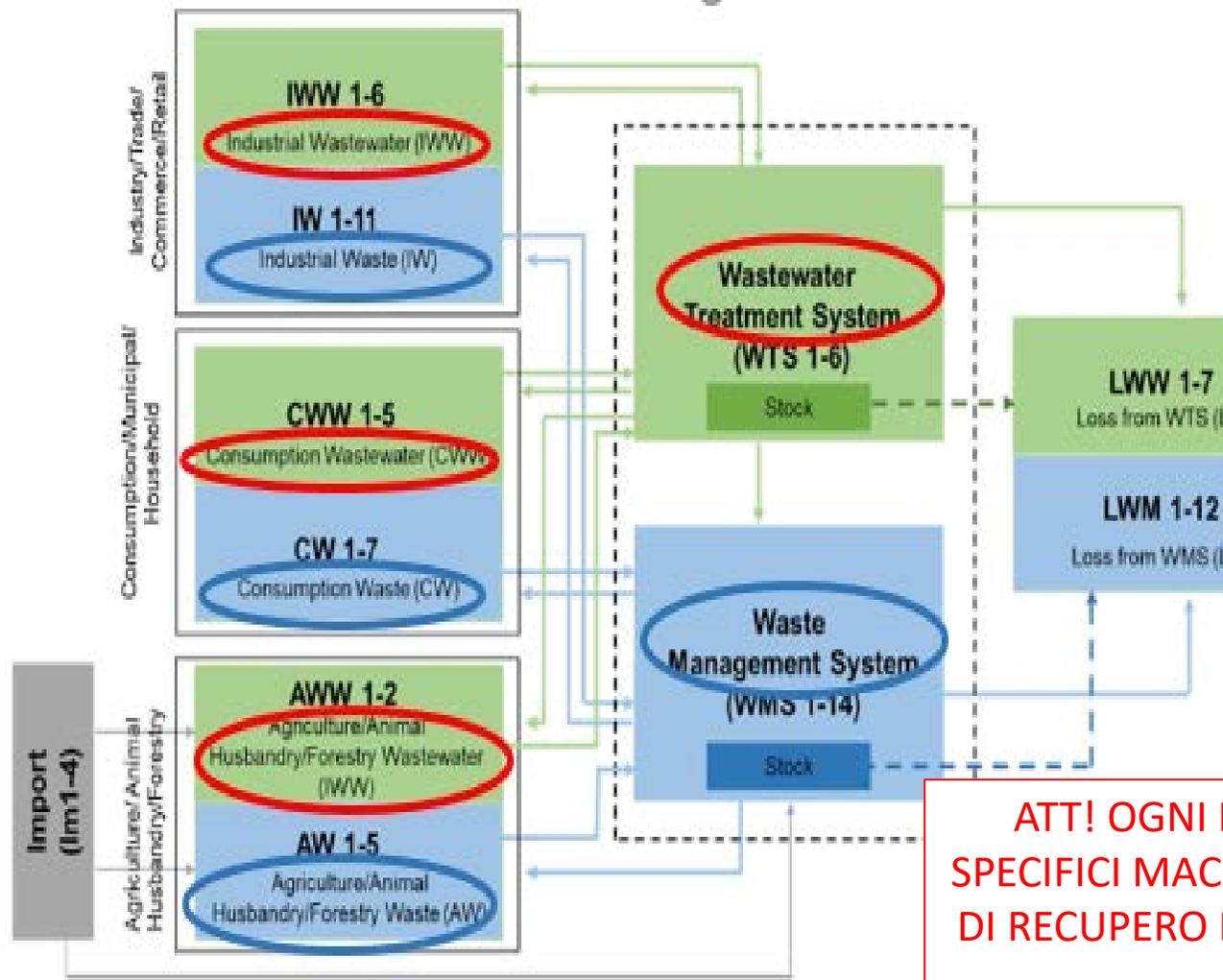
Gruppo di lavoro: Ing. Alessia Foglia, Ing. Serena Radini, Ing. Anna Laura Eusebi, Prof. Ing. Francesco Fatone



UNIVERSITÀ
POLITECNICA
DELLE MARCHE

Settori principali dai quali è potenzialmente fattibile il recupero del fosforo (Rahman et al., 2019)

FONTI NON CONVENZIONALI



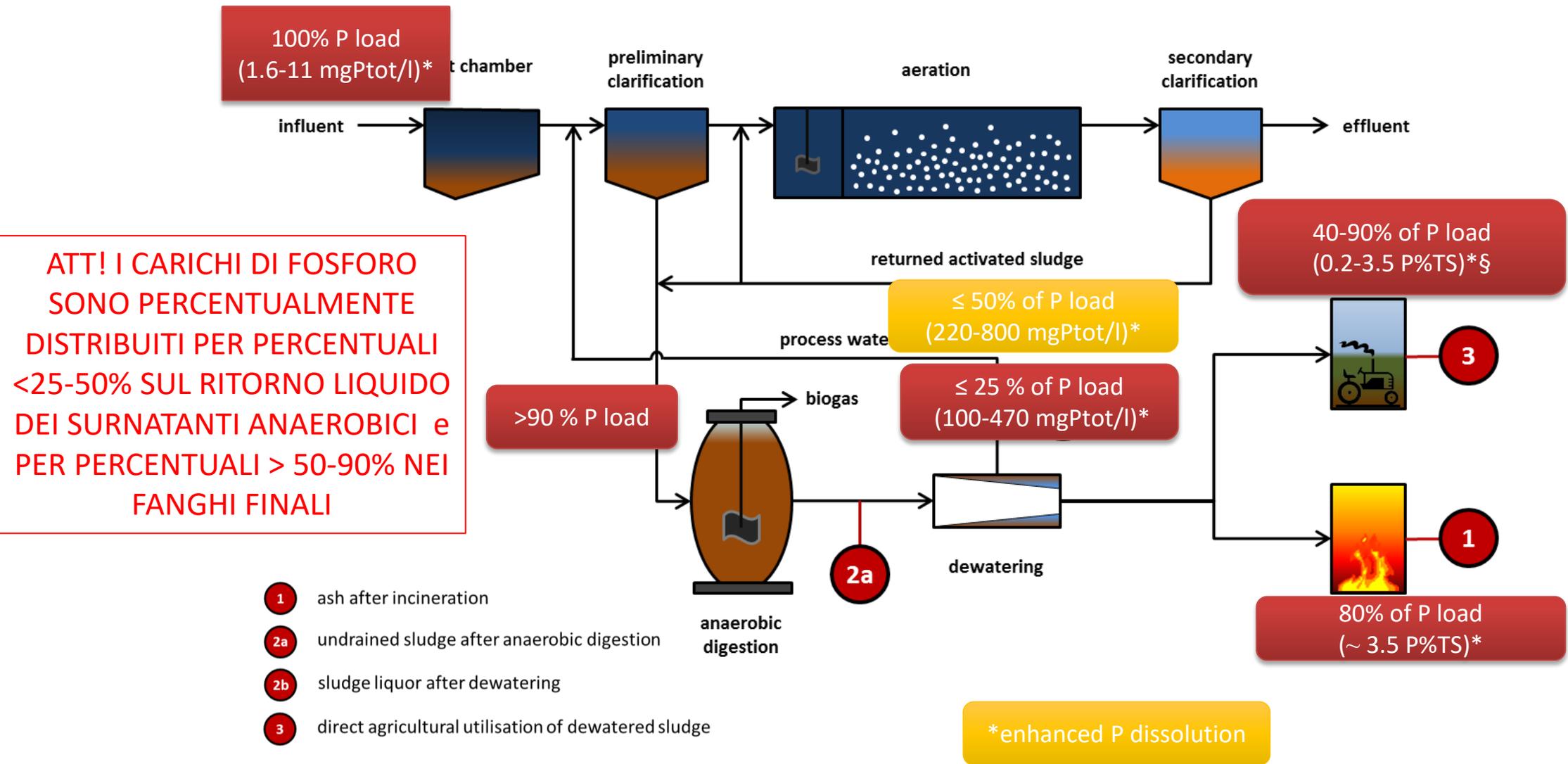
1) Acque reflue e Fanghi di depurazione

2) Rifiuti o sottoprodotti organici

3) Altri rifiuti industriali

ATT! OGNI FONTE SI ASSOCIA A SPECIFICI MACROGRUPPI DI PROCESSI DI RECUPERO E A RELATIVI PRODOTTI FINALI

1) Acque reflue e Fanghi di depurazione: Caratteristiche chimico-fisiche e Distribuzione del Carico

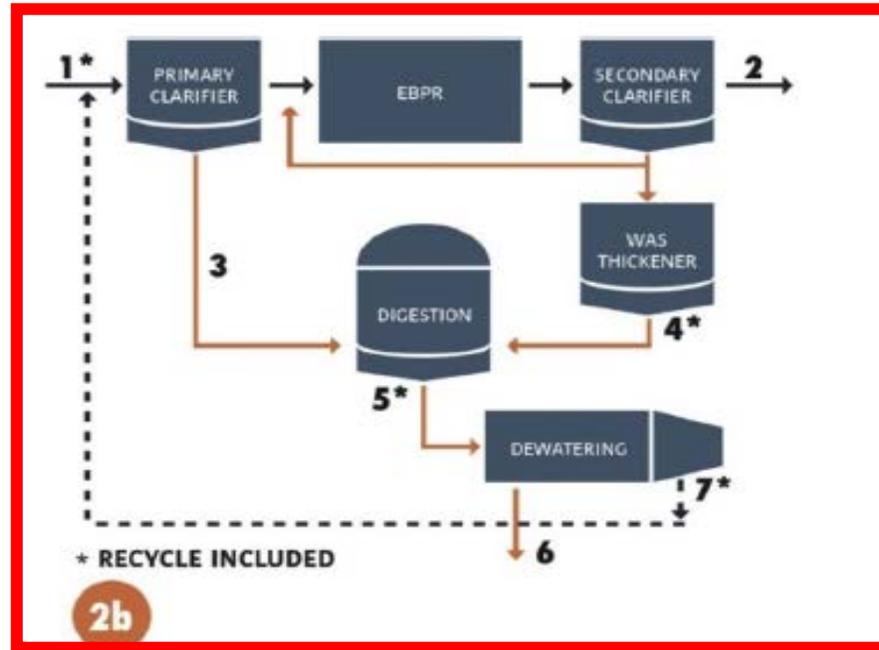
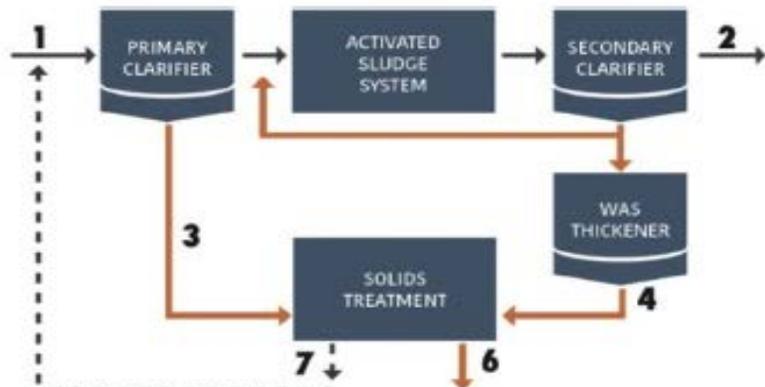


ATT! I CARICHI DI FOSFORO SONO PERCENTUALMENTE DISTRIBUITI PER PERCENTUALI <25-50% SUL RITORNO LIQUIDO DEI SURNATANTI ANAEROBICI e PER PERCENTUALI > 50-90% NEI FANGHI FINALI

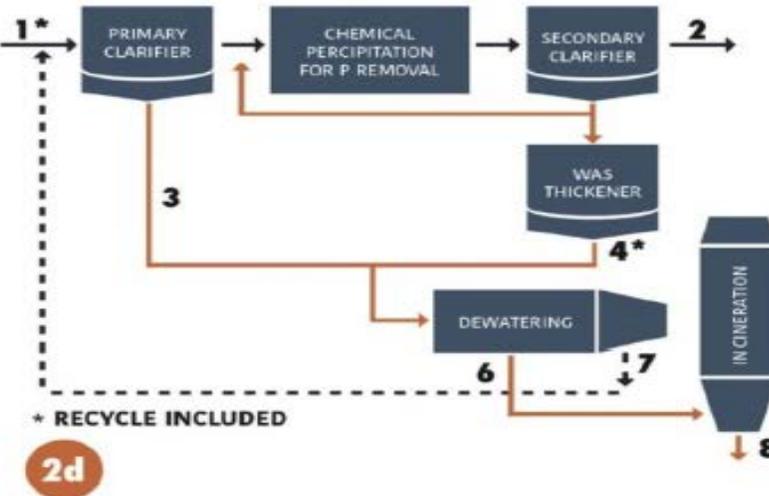
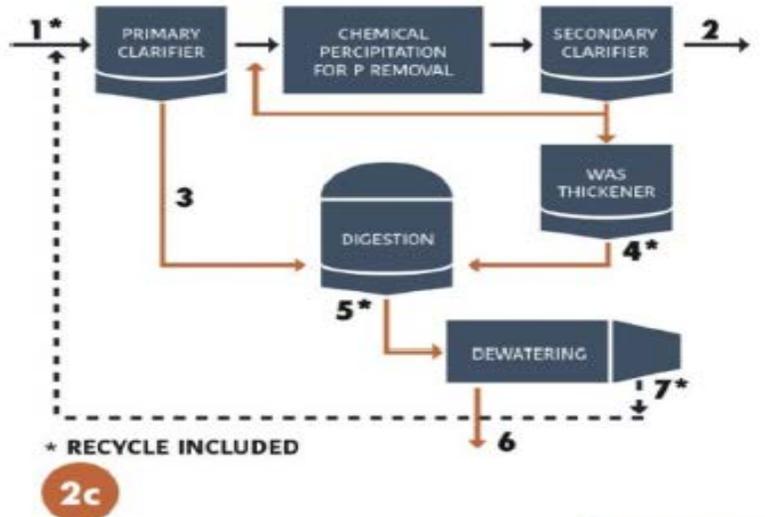
* Metcalf and Eddy, 2012

§ Indagine UTILITALIA, 2019

MASSIMIZZAZIONE DEL CONTENUTO DI P



ATT! LE CONFIGURAZIONI IN LINEA ACQUE E IN LINEA FANGHI INFLUENZANO LE CONCENTRAZIONI E I RELATIVI RECUPERI FINALI



- 1: Influent
- 2: Effluent
- 3: Primary Sludge
- 4: Thickened Waste Activated Sludge
- 5: Digested Solids (where applicable)
- 6: Biosolids
- 7: Sludge Liquor
- 8: Sludge Ash (where applicable)

POTENZIALI DI RECUPERO DEL P:

1 e 2) ACQUE REFLUE E FANGHI DI DEPURAZIONI+SOTTOPRODOTTI ORGANICI

[kton P/year]	Total	Recycled	Potential
Sewage sludge	297	115	182
Biodegradable solid waste	130	38	92
Meat & bone meal	128	6	122
Total	427-555	153-160	274-396
Manure recycling =	1 736		
Mineral fertiliser use =	1 448		

van Dijk & OeOverview of phosphorus flows in wastes in Europe , 2013, Fertilisers Europe seminar, 6 Feb. 2013.

Updated Van Dijk et al. 2015nema "

APPLICAZIONI IN SCALA DIMOSTRATIVA E PIENA SCALA

3) ALTRI RIFIUTI INDUSTRIALI

- Polveri estinguenti* (Potenziale 15-27 ktonP/anno in Europa)
- Batterie agli ioni di litio (Potenziale 0.018 ktonP/anno in Italia**)
- Scorie siderurgiche (Potenziale n.d.)
- Acque reflue farmaceutiche (Potenziale n.d.)

**APPLICAZIONI PRINCIPALMENTE
IN SCALA LABORATORIALE E/O PILOTA**

*(<http://prophoschemicals.com/products/polvere/>)

** Non considera altri RAEE

Riassumendo..

MATRICI	CONTENUTO DI P	POTENZIALE DI RECUPERO	LIVELLO DI MATURITA'
FANGHI DI DEPURAZIONE/REFLUI	0.2-3.5 P%DM	+++	+++
URINE	0.02-0.07 P%DM	++	+
FORSU	0.17-0.42 P% FORSU tq	++	++
RIFIUTI AGROALIMENTARI	25-450 mgP/L	++	++
LETAME	1-3 P%DM	+	+ -
POLVERI ESTINGUENTI	4.3-19 P%DM	-	--
BATTERIE A LITIO	2.6 P%DM	--	--
SCORIE SIDERURGICHE	0.9 P%DM	--	--
ACQUE FARMACEUTICHE	0.8-1.2 gP/L	-	+ -

Audit Tecnologico: Metodologia applicata e Risultati Forniti

Processi e configurazioni a supporto del recupero del fosforo

SCHEMA TIPO:

- 1) INFORMAZIONI DI PROCESSO
- 2) LIVELLO DI MATURITA'
- 3) CONSUMI ENERGETICI
- 4) CONSUMO DI REAGENTI
- 5) VANTAGGI
- 6) LICENZA/BREVETTI

+

SCHEMA DI FLUSSO

+

REFERENZE E CASI APPLICATIVI:

- LOCAZIONE
- FLUSSO TRATTATO
- CAPACITA' DI RECUPERO
- ANNO DI AVVIO

IMPIANTO	ANNO	FLUSSO TRATTATO	Q in [m3/h]	P-PO ₄ influente [mgP/l]	P-PO ₄ effluente [mgP/l]	Produzione Struvite kg/d
Humana Milchunion, Everswinkel (Germania)	2006	Effluente UASB	125	60-65	20-15	600
Agristo, Harelbeke-Hulste (Belgio)	2008	Effluente UASB	60	100	20-15	600-800
Clarebout Potatoes, Nieuwkerke (Belgio)	2011	Effluente UASB	120	150	20-15	1800
Clarebout Potatoes, Nieuwkerke (Belgio)	2012	Effluente UASB	120	130-175	20-15	1700-2000
Aquafin WWTP, Aartselaar (Belgio)	2013	DIGESTATO	8	100	15	75
Land Van Cuijck WWTP (Paesi Bassi)	2015	SURNATANTE	5	650	88	400
Apeldoorn WWTP (Paesi Bassi)	2016	IBRIDO	140	450	40	1500
Geel, Genzyme (Belgio)	2014					

Tecnologie applicate ai flussi liquidi : **Tecnologie Analizzate n°17 – Casi Studio n° 66**

Tecnologie applicate alle ceneri **Tecnologie Analizzate n°10 – Casi Studio n° 10**

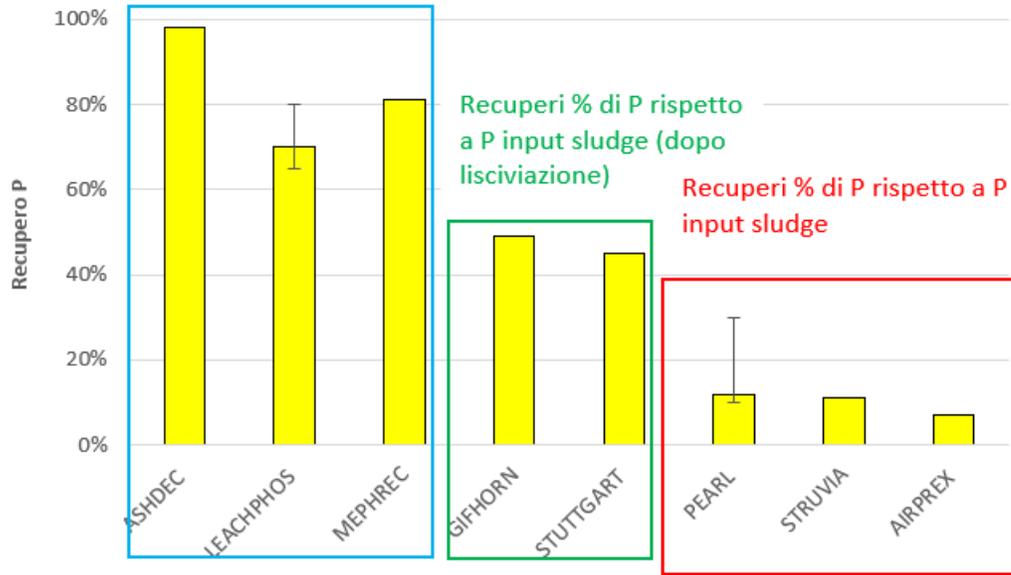
Audit Tecnologico: Metodologia applicata e Risultati Forniti

TECH	PRINCIPIO DI FUNZIONAMENTO	SCALA/TRL	MATRICE	P-INFLUENTE	PRODOTTO RECUPERATO	RECUPERO di P	APPLICAZIONI
-	tipo di processo	-	tipologia	mgP/L	tipologia	%	
OSTARA PEARL	cristallizzazione	piena scala	struvite anaerobico	100-900	struvite	10-30	USA, Inghilterra, Canada, Spagna, Olanda
NuReSys	cristallizzazione	piena scala	struvite anaerobico	60-175	struvite	80-90	Germania, Belgio
DHV crystallactor	cristallizzazione	piena scala	struvite anaerobico	>25	CaP, fosfato di magnesio, struvite	10-40	Cina, Germania
Multiform Harvest	cristallizzazione	piena scala	struvite anaerobico		struvite	80	USA
Phosphogreen	precipitazione/cristallizzazione	piena scala	struvite anaerobico	70	struvite	fino a 90	Danimarca, Francia
Struvia	cristallizzazione	piena scala	struvite anaerobico	>50	struvite, CaP		Danimarca
ANPHOS	cristallizzazione	piena scala	struvite anaerobico	>50	struvite	80-90	Olanda
AIRPREX	precipitazione/cristallizzazione	piena scala	struvite anaerobico	150-250	struvite	10-25	Germania, Olanda, Cina
PHOSPAQ	cristallizzazione	piena scala	struvite anaerobico	50-65	struvite	70-95	Olanda, Inghilterra
PHOSNIX	cristallizzazione	piena scala	struvite anaerobico	100-150	struvite	80-90	Giappone
REM-NUT	scambio ionico+precipitazione	scala pilota	effluente secondario		struvite, CaP	45-60	Italia
PRISA	precipitazione/cristallizzazione	scala pilota	struvite anaerobico		struvite	10-25	Germania
P-Roc	cristallizzazione	scala pilota	struvite anaerobico		struvite, CaP	10-30	Germania
TECH	PRINCIPIO DI FUNZIONAMENTO	SCALA/TRL	MATRICE	P-INFLUENTE	PRODOTTO RECUPERATO	RECUPERO di P	APPLICAZIONI
-	tipo di processo	-	tipologia	mgP/L	tipologia	%	
AIRPREX	precipitazione/cristallizzazione	9	fango anaerobico		struvite	80-90*	
PHOSPAQ	cristallizzazione	9	fango anaerobico		struvite	70-95*	
SEABORNE		7	fango anaerobico		struvite	>90*	
GIFHORN	lisciviazione chimica umida+precipitazione	piena scala	fango anaerobico		struvite	49	Germania
STUTTGART	lisciviazione chimica umida+precipitazione	piena scala	fango anaerobico		struvite	45	Germania
RAVITA	post-precipitazione, dissoluzione	scala pilota	fango/ceneri		ammonio fosfato	95	Finlandia
ASHDEC	termo-chimico	7	ceneri		calcined ash with CaNaPO phase	98	
ASH2PHOS	processo chimico umido (lisciviazione acida)+precipitazione	scala pilota	ceneri		calcio fosfato, dicalcio fosfato, ammonio fosfato, diammonio fosfato	90	Svezia
ECOPHOS	processo chimico umido (lisciviazione acida)	piena scala	ceneri		dicalcio fosfato, acido fosforico	95	Bulgaria, Francia
LEACHPHOS	processo chimico umido (lisciviazione acida)+precipitazione	scala pilota	ceneri		CaP o Wet Struvite	65-80	Svizzera
SEPHOS	processo chimico umido (lisciviazione acida)+precipitazione	scala laboratoriale	ceneri		CaPO4, AIP, CaP	90	Germania
PASCH	processo chimico umido (lisciviazione acida)	scala pilota	ceneri		CaPO4, AIP, CaP	65-80	Svizzera
RecoPhos	processo chimico umido (lisciviazione acida)	scala pilota	ceneri		H3PO4, P4	85-100	Germania, Belgio, Austria
ThermPhos	processo termoelettrico	piena scala	ceneri	0.09 ton P/ton ash	P4	85-95	Olanda
TetraPhos	estrazione chimica acida	scala pilota	ceneri		H3PO4		Germania
Mehprec	gasificazione	scala pilota	fango anaerobico		10-25%P rich slag	80	Germania

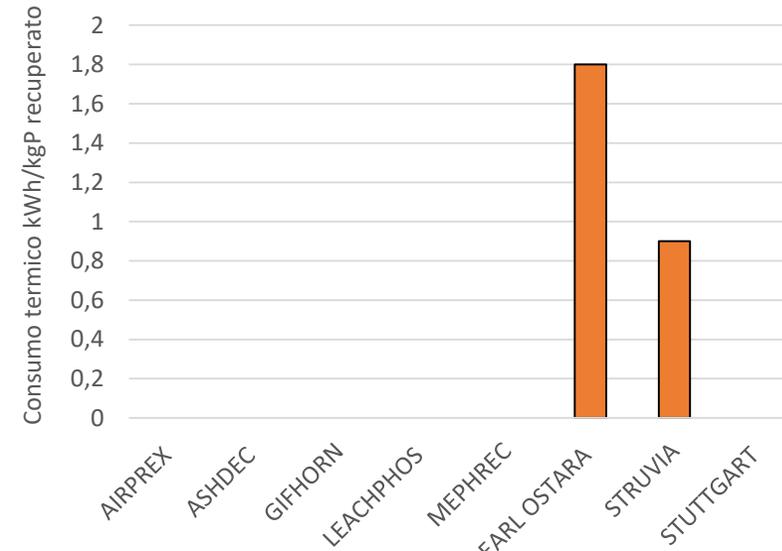
* su PO4

Audit Tecnologico: Metodologia applicata e Risultati Forniti

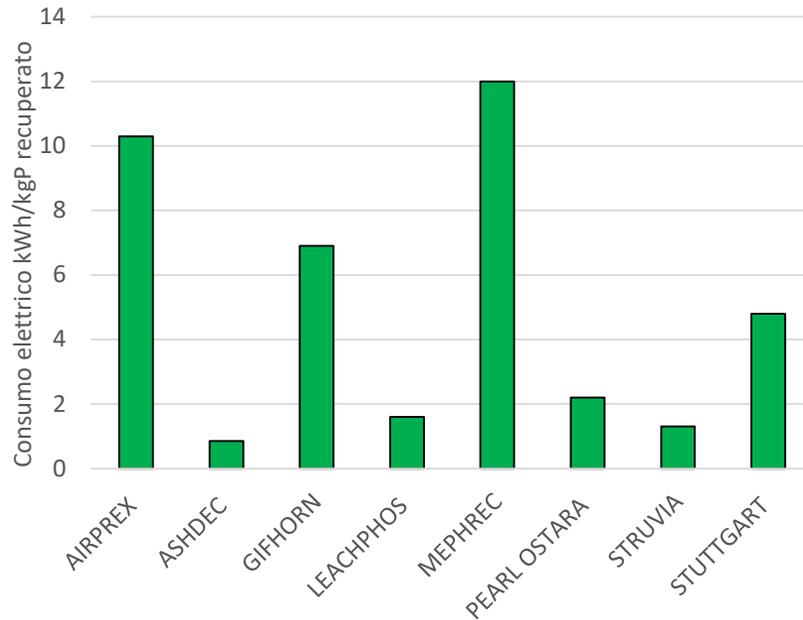
Recuperi % di P rispetto a P input ash



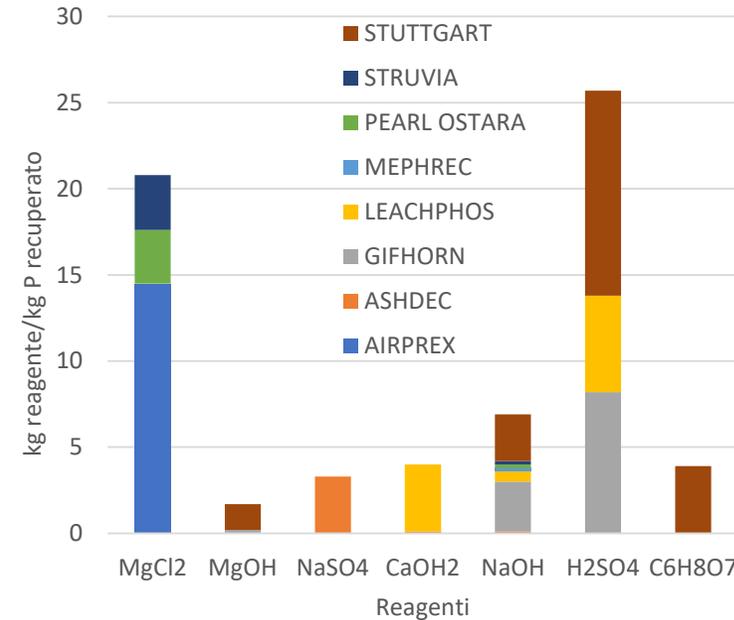
CONSUMI TERMICI SPECIFICI



CONSUMI ELETTRICI SPECIFICI



CONSUMI SPECIFICI DI REAGENTI CHIMICI

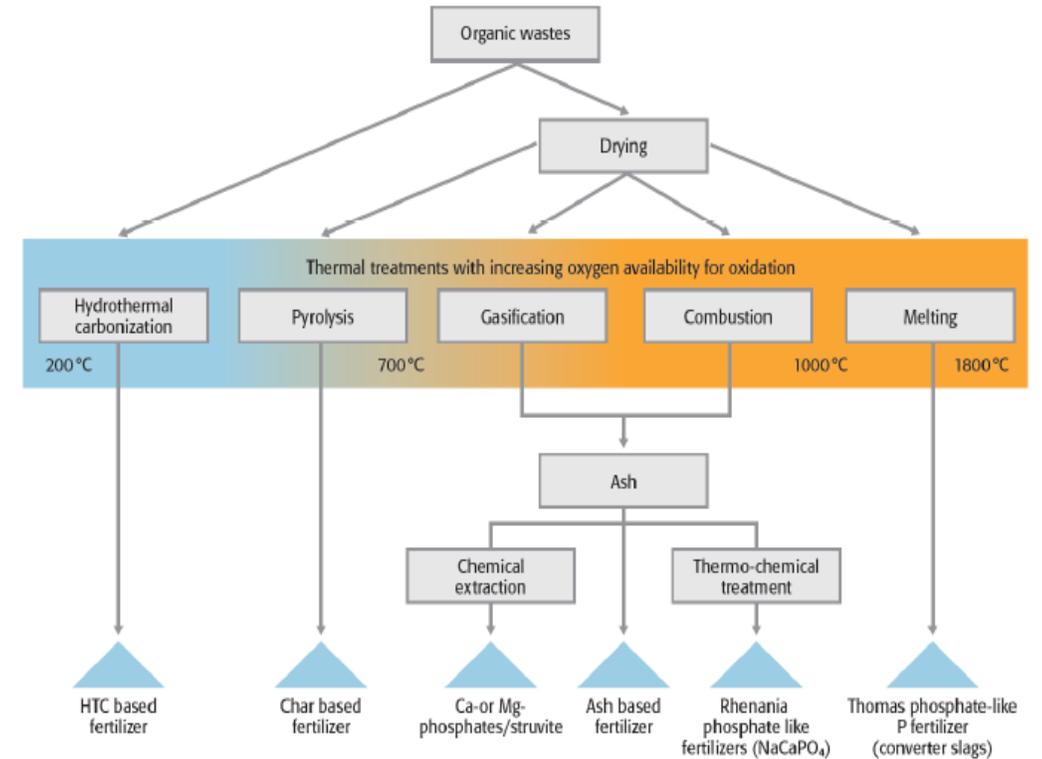


Tipologie, Caratterizzazione dei Prodotti recuperati e settori di mercato

PRODOTTI DALLE CENERI

SALI PRECIPITATI

- STRUVITE (MAP)
- $MgNH_4PO_4 \cdot H_2O$ (dittmarite),
- $MgHPO_4 \cdot 3H_2O$ (newberyite),
- $MgKPO_4 \cdot 6H_2O$ (K-struvite)
- $CaNH_4PO_4 \cdot 7H_2O$ (calcio ammonio fosfato),
- $CaHPO_4 \cdot 2H_2O$ (brushite)
- VIVIANITE ($Fe^{+2} 3(PO_4)_2 \cdot 8(H_2O)$)



Fattibilità di riutilizzo dei prodotti recuperati come **Fertilizzanti secondo Linee Guida STRUBIAS**

in? or out?		Sewage	Manure	Animal By-Products		Food waste / biowaste	Food industry
				Cat 2&3	Cat 1		
STRUBIAS P-salts	<i>Including when used as fertiliser production ingredient</i>	✓	✓ (sterilised ?)	✓ (sterilised ?)	✗	✓	✓
STRUBIAS ashes		✓	✓	✓	✗	✓	✓
STRUBIAS biochars etc		✗	✓	✓	✗	✓	✗

Tipologie, Caratterizzazione dei Prodotti recuperati e settori di mercato

Technology	Recovery potential		TRL	Depollution technology and potential											Recovered material	
	Recovery process	Related to WWTP influent		heavy metals	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn	OM			
REM-NUT®	90%	50-60%	5-6/-	ion exchange											(+) ¹	MAP
AirPrex®	85-90%	10-max. 25%	9/9	not necessary											(+) ¹	MAP
DHV Crystalactor®	85-90%	10-max. 25%	9/9	not necessary											(+) ¹	CaP
Ostara Pearl Reactor®	85-90%	10-max. 25%	9/9	not necessary											(+) ¹	MAP
P-RoC®	85-90%	10-max. 25%	5-6/8	not necessary											(+) ¹	CaP/MAP
PRISA	90%	10-max. 25%	5-6/-	not necessary											(+) ¹	MAP

Sewage sludge	100%	90%	-	no											(-)	sludge
AquaReci®	~70%	~60%	5-6/7-9	caustic leaching											(+) ²	CaP/FeP
MEPHREC®	~80%	~70%	5-6/7-9	iron slag											(+) ³	P-rich slag
PHOXNAN	~60%	~40-50%	5-6/-	(ultra/nano-) filtration											(o) ²	MAP
Gifhorn	max. 50%	35-50%	9/9	precipitation											(o)	MAP/CaP/FeP
Stuttgart	max. 50%	35-50%	5-6/9	complexation											(o)	MAP/CaP/FeP

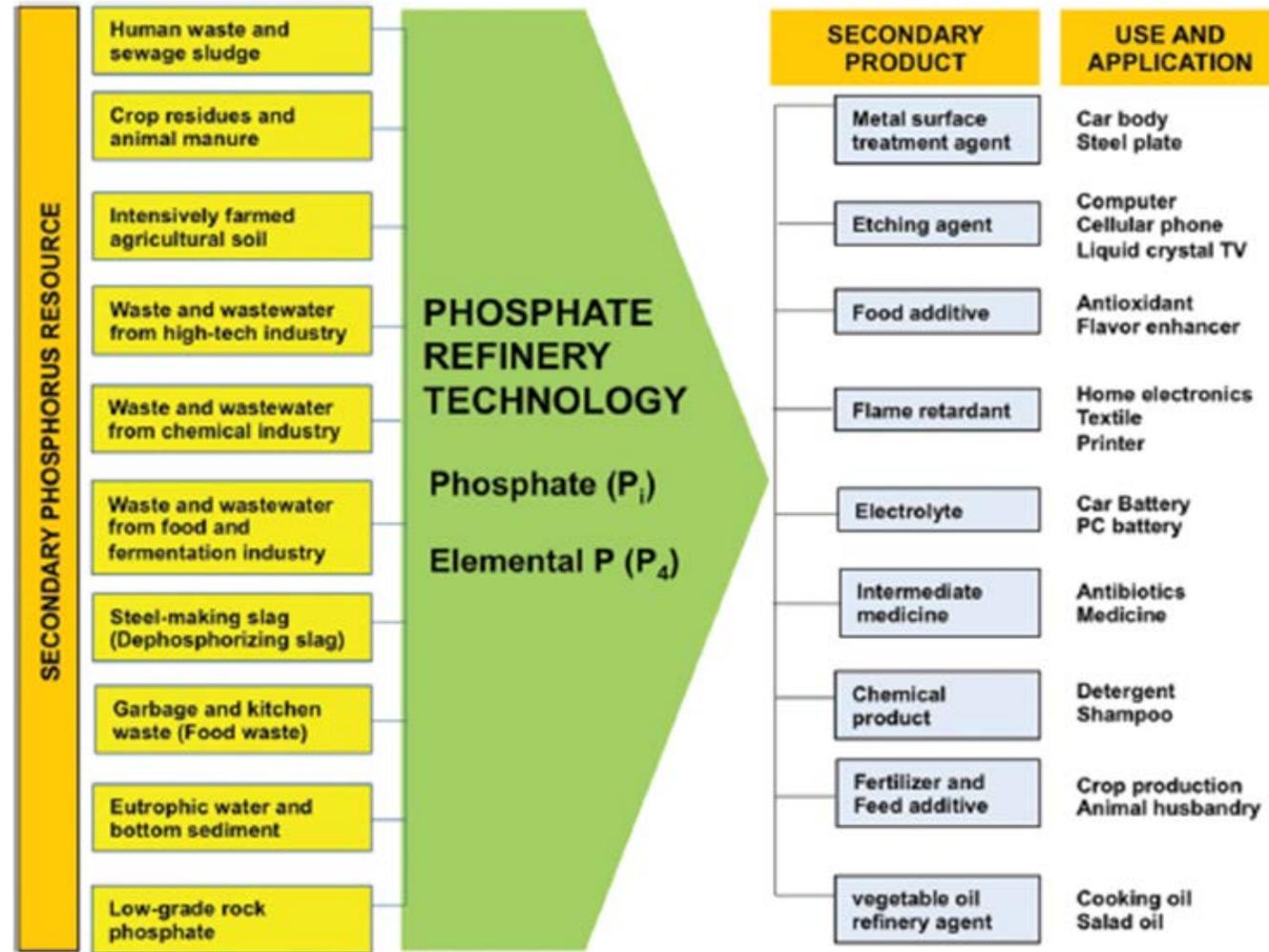
Sewage sludge ash	100%	87%	-	no											(+) ³	ash
AshDec® depoll.	98%	~90%	5-6/9	thermo-chemical											(+) ³	depolluted ash
AshDec® Rhenania	98%	~90%	5-6/9	thermo-chemical											(+) ³	partly depoll. Ash
LEACHPHOS®	~70-80%	~60-70%	5-6/7-9	leaching											(+) ³	CaP
PASCH	~70-80%	~60-70%	5-6/7-9	leaching + organic agent											(+) ³	CaP
EcoPhos®	95%	~85%	9/9	leaching + ion exchange											(+) ³	Phosphoric acid
RecoPhos®	100%	87%	9/9	no											(+) ³	Mineral fertilizer
Fertilizer Industry	100%	87%	9/9	no											(+) ³	Mineral fertilizer
Thermphos®	95%	~85%	9/-	subca slag											(+) ³	P ₄

Single Superphosphate	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		Mineral fertilizer
-----------------------	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	--	--------------------

Depollution related to the input flow	
	no data
	<20%
	20-40%
	41-59%
	60-80%
	>80%

Organic Micropollutants (OM)	
+	total destruction of OM
o	OM significantly reduced
-	no OM destruction/depollution
¹ no incorporation of OM during crystallisation process	
² OM (partly) destruction due to oxidation process	
³ OM destruction due to sludge incineration	

APPLICAZIONI DEL FOSFORO RECUPERATO: Settori Secondari (Withers et al., 2015)



The Phosphate Refinery for production of renewable secondary P sources in agriculture and industry. After Ohtake.^{18,54}

PREZZI DI MERCATO SALI DI FOSFORO da LETTERATURA TECNICO-SCIENTIFICA

Prodotto	€/tonne	REF.
Struvite (MgNH ₄ PO ₄ ·6H ₂ O)	158	Struvite Granulata, STRUBIAS 2019
	250	Ueno and Fujii, 2001
	300	Prodotto PhosCare, SUEZ company
	188-314	Münch and Barr, 2001
	464	Shu et al., 2006
	763	Dockhorn et al., 2009
	390	Nieminem et al., 2010
	489	Desmidt et al., 2014
MEDIA STRUVITE	368	
K-Struvite	Non disponibile	
Ca ₃ (PO ₄) ₂	729	Gaanstra et al. 1998
CaHPO ₄ ·2(H ₂ O) (Brushite)	290	Montag and Pinnekamp 2009
MEDIA CALCIO FOSFATO	510	
Vivianite Fe ₃ (PO ₄) ₂ *8H ₂ O	10	Yang Wu et al.,2019

ATT! PROPONE INCENTIVI SULLA BASE DI PUREZZA E GRANULOMETRIA PER OTTIMALE MISCELAZIONE NELLA PRODUZIONE DEI FERTILIZZANTI!!

APPROCCI GESTIONALI OTTIMALI E BUONE PRATICHE: NORMATIVA-LINEE GUIDA

PAESE/STATO MEMBRO	ANNO DI ADOZIONE	PRINCIPI GENERALI RISULTANTI dei PROCEDIMENTI NORMATIVI
SVIZZERA	2016	Obbligo Recupero Fosforo da ceneri di fanghi di depurazione entro il 2027
GERMANIA	2017	Obbligo Recupero Fosforo da depuratori con potenzialità > 100.000 AE dopo un periodo di transizione di 12 anni Recupero Fosforo da depuratori con potenzialità > 50.000 AE dopo un periodo di transizione di 15 anni Recupero fosforo quando la concentrazione è superiore al 2% su base secca. Esenzione per depuratori < 50000 AE
FINLANDIA	2017	Obiettivo di trattare per recupero nutrienti circa il 50% dei reflui urbani e zootecnici
SVEZIA	Dal 2002 al 2015	Obiettivo di recupero del 60% del Fosforo in agricoltura considerando i fanghi (anno 2002); recupero di circa il 40% del Fosforo dei reflui (2015)
AUSTRIA	2019	Obiettivo di recupero del P in impianti di depurazione delle acque reflue con capacità >20000AE
DANIMARCA	2018	Obiettivo di recupero dell'80% del Fosforo nei reflui nelle aziende agricole

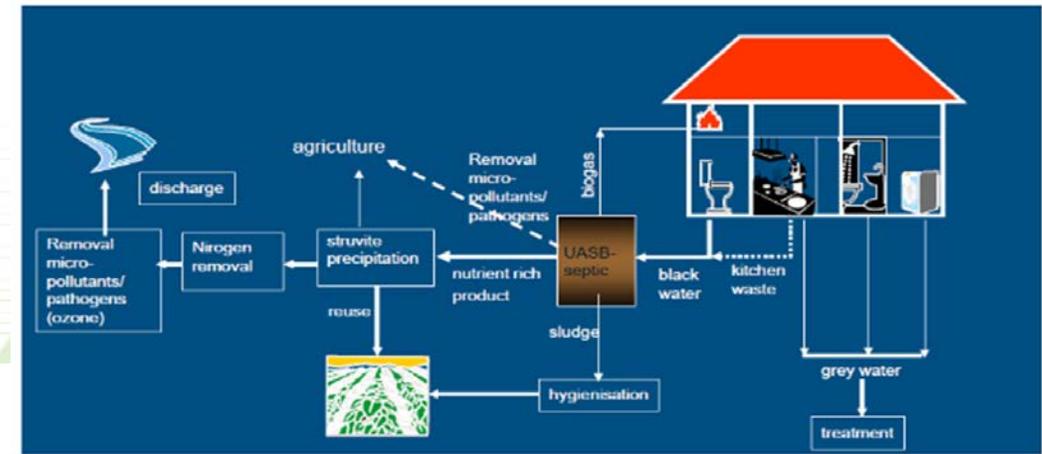
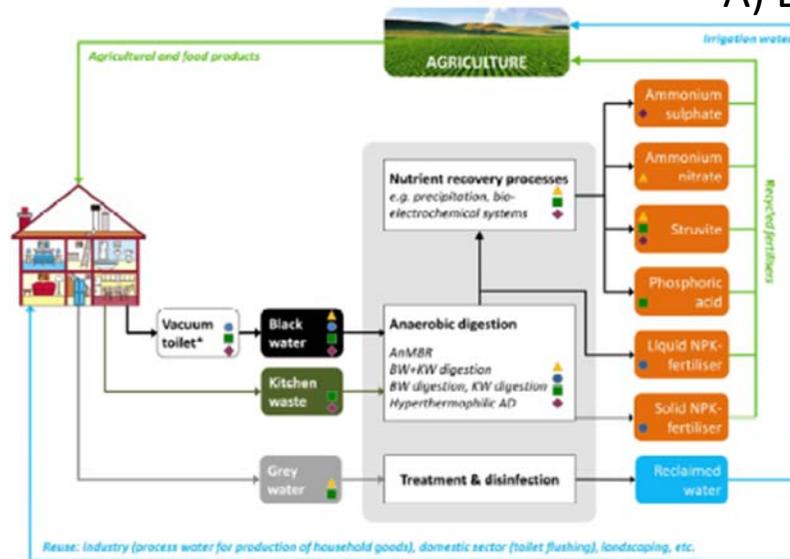
APPROCCI GESTIONALI OTTIMALI E BUONE PRATICHE: GESTIONE REFLUI

APPROCCI		
GESTIONE REFLUI	DECENTRALIZZATO	SEPARAZIONE FECI-URINE



Fig. 18: Urine is applied about 5 to 10 cm from plant base (source: Wafler, 2008)

A) DIVERTING TOILET + SPANDIMENTO URINA



DeSAR, 2005-2008

B) CASI STUDIO E PROGETTI EUROPEI A SUPPORTO RECUPERO P DA FLUSSI URINE-FECI

APPROCCI GESTIONALI OTTIMALI E BUONE PRATICHE: GESTIONE REFLUI

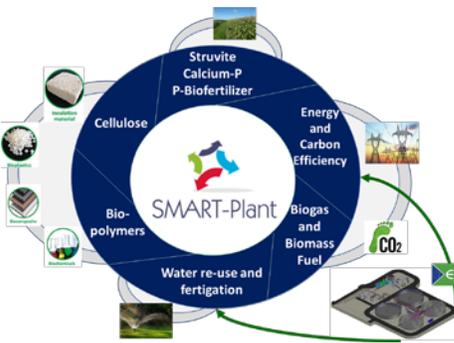
APPROCCI

GESTIONE REFLUI/RIFIUTI

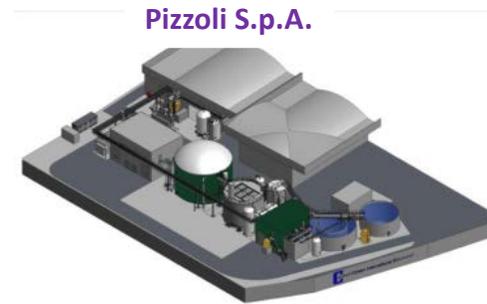
CENTRALIZZATA/INTEGRATA CON RIFIUTI

APPLICAZIONE TECNOLOGIE RECUPERO E VALORIZZAZIONI DI MERCATO e ASSOCIAZIONE AGRICOLTORI/PRODUTTORI PER GESTIONE CENTRALIZZATA

A) CASI STUDIO E PROGETTI EUROPEI A SUPPORTO RECUPERO P, Esempi:



Ecophos (Azienda Fertilizzanti)-FRANCIA
ceneri di depurazione + rocce fosfatice di basso livello



Gestione integrata FORSU e Scarti Agroalimentari a supporto della produzione di biogas (digestione anaerobica) e Produzione di flusso liquido concentrato ricco di Nutrienti. (es. Romerike, Norvegia)

Gestione Scarti Industriali Vari anche integrata : 1) Azienda Cartaria e Azienda di Produzione Fertilizzanti (Metsä e Biolan-Paesi Baltici); 2) Azienda Estrazione del Ferro e Azienda di Produzione Fertilizzanti (LKAB e EasyMining-Paesi Baltici); 3) Azienda ProPhos Chemicals produttrice Polveri Estinguenti – (Progetto PHOSave - San Giovanni in Croce, Italia)

B) STANDARDIZZAZIONE DELLA QUALITÀ FINALE DEL PRODOTTO RECUPERATO

Crystal Green

Struvite acquistata da Tecnologia Ostara



Berlin Pflanze

Tecnologia AirPrex registrazione REACH
Vendita nel territorio



PhosphorCare

Struvite venduta da Tecnologia Phoshogreen a Kongerslev per produzione fertilizzanti registrazione REACH



Physiostart P Plus

Struvite Nuresys venduta a Timac Agro per fertilizzanti



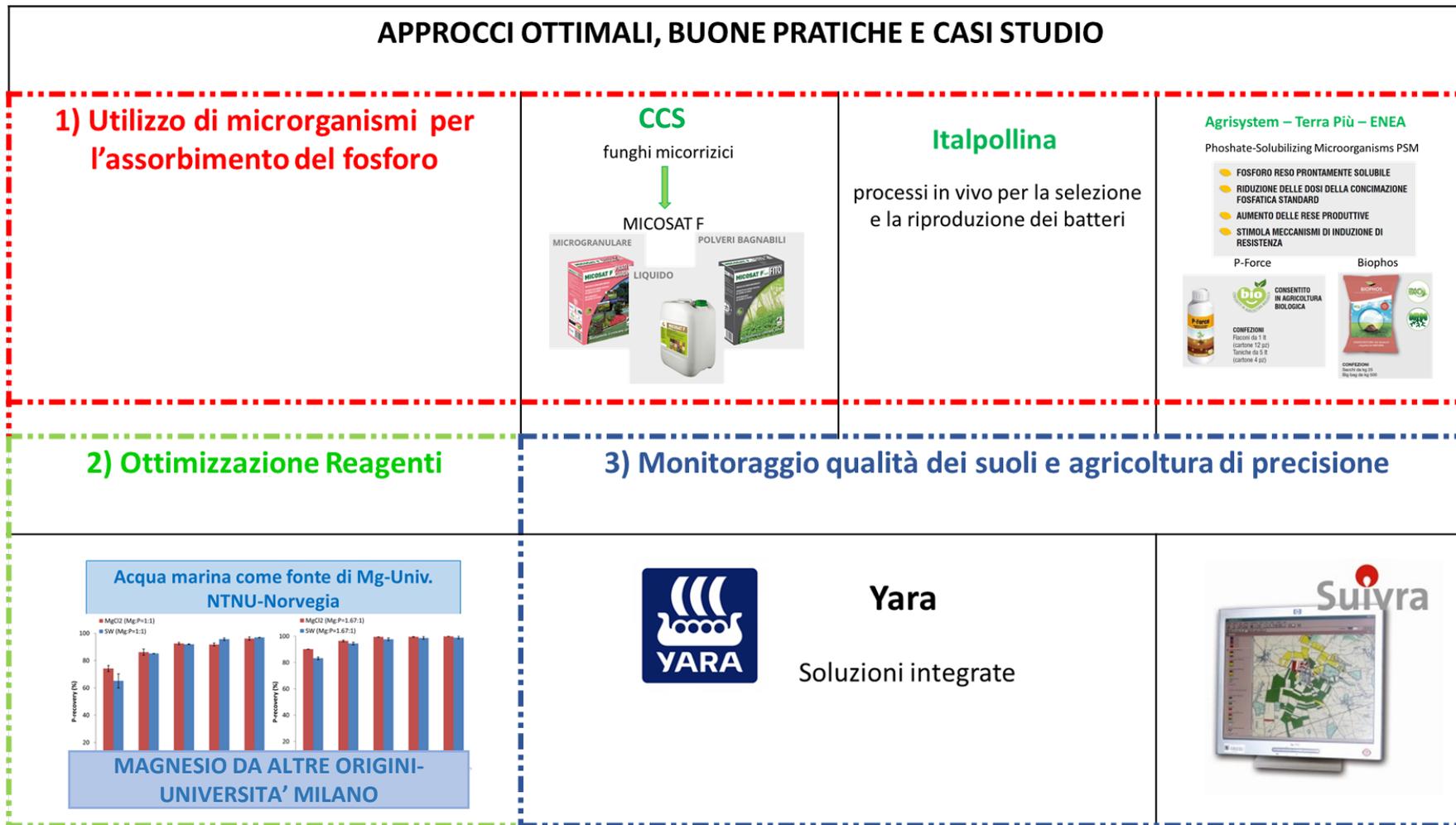
Waternet

Struvite venduta da Tecnologia AirPrex a ICL Fertilizers per la produzione di fertilizzanti



UNIVERSITÀ POLITECNICA DELLE MARCHE

APPROCCI GESTIONALI OTTIMALI E BUONE PRATICHE e LINEE GUIDA DI INCENTIVAZIONE



Descrizione Generale Linee guida Normative Europee a Supporto generale dell'Applicazione dei principi di Economia Circolare (Pacchetto EU Economia Circolare), Incentivazione per l'Uso di Buone Pratiche (Common Agricultural Policies), Programmi Europei e Nazionali per Finanziamento Progetti (es. programma "Industry 2020 in the Circular Economy" di Horizon 2020).



MINISTERO DELL'AMBIENTE
E DELLA TUTELA DEL TERRITORIO E DEL MARE

ENEA



UNIVERSITÀ
POLITECNICA
DELLE MARCHE

Grazie per l'attenzione