



2023

Gruppo di Lavoro 4

– MERCATO –

P7

Aggiornamento 2023

Analisi dei giacimenti primari di fosforo e
degli utilizzi attuali del fosforo in Italia e in
Europa e stima dei costi di
approvvigionamento

dicembre 2023

Indice

1	Il fosforo: introduzione.....	1
1.1	La piattaforma europea del fosforo.....	3
2	Policy e legislazione sul mercato del fosforo.....	6
2.1	Il contesto europeo.....	6
2.1.1	La politica europea per favorire un'economia circolare del fosforo.....	6
2.1.2	Il fosforo come materia prima critica.....	9
2.1.3	La normativa europea sul fosforo.....	14
2.2	Il contesto italiano.....	17
2.2.1	Gli attori coinvolti.....	18
2.2.2	La legislazione italiana sul fosforo.....	20
2.2.3	Altre misure.....	23
3	L'offerta di fosforo.....	30
3.1	Offerta primaria di fosforo.....	30
3.1.1	Risorse e riserve di rocce fosfatiche.....	30
3.1.2	Produzione mondiale di rocce fosfatiche e fosforo bianco.....	31
3.2	Offerta secondaria di fosforo.....	32
3.2.1	Le matrici per il recupero di fosforo.....	38
3.2.2	Tecnologie di trattamento.....	40
4	La domanda di fosforo.....	44
4.1	Applicazioni.....	44
4.1.1	Usi finali del fosforo derivante dalla lavorazione della roccia fosfatica mediante trattamenti ad umido.....	45
4.1.2	Usi finali del fosforo bianco.....	47
4.2	Materiali e sostanze utilizzate nelle applicazioni del fosforo.....	52
4.2.1	I dati economici dei settori connessi alle applicazioni di fosforo.....	55
4.2.2	Il potenziale impiego dei materiali recuperati.....	58
4.3	Consumi.....	61
4.3.1	FOCUS Consumi Fertilizzanti.....	62
4.4	I prezzi.....	63
4.4.1	FOCUS Prezzi Fertilizzanti.....	64
5	I flussi di fosforo.....	66
5.1	I paesi esportatori.....	66
5.2	Import-Export a livello europeo.....	72
5.3	Import-Export a livello italiano.....	74
	Conclusioni e lavori futuri.....	90
	Riferimenti bibliografici.....	91
	Sitografia.....	93

Indice delle figure

Figura 1. Il ciclo del fosforo	1
Figura 2. La Piattaforma Europea del Fosforo.	4
Figura 3. La Piattaforma Europea del Fosforo, sezione Activities.	4
Figura 4. La Piattaforma Europea del Fosforo, sezione Success Stories.	5
Figura 5. Scheda informativa Fosforo estratta dal Sistema di Informazione dell'UE sulle Materie Prime	12
Figura 6 Scheda informativa Roccia fosfatica estratta dal Sistema di Informazione dell'UE sulle Materie Prime (RMIS)	13
Figura 7. Flussi globali di fosforo e quadro internazionale di riferimento.	33
Figura 8. Flussi di fosforo.....	34
Figura 9. Uso del fosforo in Europa (EU27) nel 2005 (GgP/anno).....	35
Figura 10. Uso del fosforo in Italia nel 2005 (GgP/anno).....	36
Figura 11. Domanda di batterie agli ioni di litio, 2015–230, gigawatt-hours (GWh)	39
Figura 12. Possibili metodi per il recupero del fosforo.....	43
Figura 13. Ripartizione percentuale delle applicazioni della roccia fosfatica.	45
Figura 14. Schema semplificato di produzione dei fertilizzanti fosfatici.....	47
Figura 15. Schema semplificato dei prodotti intermedi e finali derivati dal P ₄ e relative applicazioni industriali.....	48
Figura 16 Ripartizione percentuale degli usi del P ₄ nei settori manifatturieri dell'Unione Europea.....	51
Figura 17 Ripartizione percentuale dei prodotti finiti derivanti dal P ₄ nei settori manifatturieri dell'Unione Europea.....	51
Figura 18. Oscillazioni annuali nelle diverse applicazioni del fosforo: a) additivi alimentari; b) fertilizzanti, detersivi; c) prodotti metallici; d) componenti elettronici	57
Figura 19 Consumo di fertilizzanti (in tonnellate) a livello globale nell'arco temporale 1961-2021.....	61
Figura 20 Produzione di N, P, K fertilizzanti (in tonnellate) a livello globale nell'arco temporale 1961-2021.	61
Figura 21 Consumi di fertilizzante fosfatico (in tonnellate) nei paesi europei (EU27) nell'anno 2012 e 2021.	62
Figura 22 Consumi di fertilizzante fosfatico (in tonnellate) in Italia nell'arco temporale 2012-2021...62	
Figura 23. Variazione del prezzo della roccia fosfatica 70% BPL proveniente dal Marocco. US Dollari/ton. Periodo 2003 - 2023.....	63
Figura 24. Confronto tra variazioni del prezzo delle rocce fosfatiche e del petrolio. Periodo 2003 - 2023	64
Figura 25. Variazione prezzi fra fertilizzanti DAP e roccia fosfatica. Periodo 2008 – 2023.	65
Figura 26. Importazione UE di roccia fosfatica media periodo 2016-2020.....	66
Figura 27. Approvvigionamento UE (produzione nazionale + importazioni) di roccia fosfatica, media periodo 2016-2020.....	67
Figura 28. Approvvigionamento UE (produzione nazionale + importazioni) di roccia fosfatica, andamento temporale	69
Figura 29. Importazione UE di roccia fosfatica, andamento temporale	69
Figura 30. Importazioni UE di fosforo bianco, media periodo 2010-2014.....	69
Figura 31. Importazioni UE di fosforo bianco, andamento temporale	70
Figura 32. SR, EI e SI relativi alla roccia fosfatica, andamento temporale	71
Figura 33. SR, EI e SI relativi al fosforo bianco, andamento temporale	71

Figura 34. Flussi di importazioni ed esportazioni dell'UE relativi al commercio di roccia fosfatica (tonnellate)	72
Figura 35. Valore delle importazioni e delle esportazioni dell'UE relativi al commercio di roccia fosfatica (euro)	73
Figura 36. Flussi di importazioni ed esportazioni dell'UE relativi al commercio di fosforo bianco (tonnellate)	73
Figura 37. Valore delle importazioni e delle esportazioni dell'UE relativi al commercio di fosforo bianco (euro)	74
Figura 38. Flussi di importazioni ed esportazioni dell'Italia relativi al commercio di roccia fosfatica (tonnellate)	75
Figura 39. Valore delle importazioni e delle esportazioni dell'Italia relativi al commercio di roccia fosfatica (euro)	75
Figura 40. Flussi di importazioni ed esportazioni dell'Italia relativi al commercio di fosforo bianco (tonnellate)	76
Figura 41. Valore delle importazioni e delle esportazioni dell'Italia relativi al commercio di fosforo bianco (euro)	76
Figura 42. Flussi di importazioni nette in Italia rispetto a quelle dell'UE	77
Figura 43. Valore delle importazioni nette in Italia rispetto a quelle dell'UE	77
Figura 44. Coeweb - Statistiche del commercio estero.	77
Figura 45. Importazioni ed esportazioni italiane di materiali e sostanze contenenti fosforo in funzione del codice NC8, anno 2022.	82
Figura 46. Importazioni ed esportazioni italiane di materiali e sostanze contenenti fosforo in funzione del codice NC8, anno 2022.	83
Figura 47. Importazioni italiane della totalità dei materiali e delle sostanze contenenti fosforo (tonnellate)	84
Figura 48. Esportazioni italiane della totalità dei materiali e delle sostanze contenenti fosforo (tonnellate)	84
Figura 49. Bilancia commerciale italiana (importazioni – esportazioni) riferita alla totalità dei materiali e delle sostanze contenenti fosforo (euro)	85
Figura 50. Importazioni per area geografica di provenienza dei principali flussi di fosforo – Anno 2022	87
Figura 51. Esportazioni per area geografica di destinazione dei principali flussi di fosforo – Anno 2022	89

Indice delle tabelle

Tabella 1. Strutture e immagini delle differenti forme allotropiche del fosforo elementare.	2
Tabella 2. Obiettivi e azioni del Piano d'azione dell'UE per le materie prime critiche	8
Tabella 3. Normativa europea relativa al fosforo	14
Tabella 8. Riserve di rocce fosfatiche note nel 2023	30
Tabella 9. Produzione di rocce fosfatiche nel 2022	32
Tabella 10. Quantitativi di P perso per processo in Europa e in Italia	37
Tabella 11. Quantitativi di P da offerta secondaria (kton/anno) a livello europeo ed italiano	37
Tabella 12. Contenuto di fosforo nelle principali matrici organiche	38
Tabella 12. Comparazione delle diverse tecnologie di rimozione e recupero del fosforo dalle acque reflue	42

Tabella 13. Principali fertilizzanti fosfatici	45
Tabella 14. Principali applicazioni industriali del P ₄	48
Tabella 18. Materiali o sostanze intermedie utilizzate nelle diverse applicazioni del fosforo.	52
Tabella 19. Applicazioni delle rocce fosfatiche e del fosforo bianco e valore aggiunto per macrosettore (2011-2020).....	56
Tabella 17. Dati economici applicazioni del fosforo per settore.....	58
Tabella 22. Ricognizione delle tecnologie italiane implementate.....	60
Tabella 23. Stralcio dell'elenco delle materie prime critiche per l'UE	68
Tabella 24. Flussi italiani di import –export – Anno 2022.....	79
Tabella 21. Importazioni per provenienza di area geografica dei principali flussi di fosforo – Anno 2022 (kg)	86
Tabella 22. Esportazioni per area geografica di destinazione dei principali flussi di fosforo – Anno 2022 (kg)	88

1 Il fosforo: introduzione

Il fosforo è uno dei nutrienti più importanti necessari per sostenere la vita sulla terra (Wieczorek et al., 2021), con proprietà che non possono essere sostituite da nessun altro elemento (Smol et al., 2020). Inoltre, il fosforo è una risorsa non rinnovabile (Yu et al., 2022; Sun et al., 2020).

Il fosforo circola attraverso l'ambiente in tre cicli naturali, uno inorganico e due organici (Liu et al., 2008). Il ciclo inorganico si riferisce alla crosta terrestre dove dall'erosione delle rocce il fosforo può arrivare per lisciviazione a fiumi e mari dove nella sua forma insolubile di fosfato di calcio può sedimentare e formare, su una scala temporale di centinaia di milioni di anni, nuovamente rocce fosfatiche. Il ciclo organico legato al comparto terrestre vede il fosforo trasferirsi dal suolo alle piante e agli animali prima di tornare nuovamente – in media dopo un anno - al suolo. Infine, nel ciclo organico acquatico il fosforo circola tra le creature che vivono in fiumi, laghi, e mari, e dura in media qualche settimana. La Figura 1 illustra il ciclo del fosforo nel suo complesso considerando in questi flussi di risorse anche le attività antropiche. Infatti, lo sfruttamento agricolo dei terreni con l'impiego di fertilizzanti fosfatici insieme allo sviluppo degli allevamenti intensivi richiedenti mangimi a base di fosforo, ha creato conseguenze nel ciclo naturale del fosforo. Infatti, da un lato ha intaccato profondamente i giacimenti di fosforo, e dall'altro, a causa del dilavamento del terreno, ha arricchito fiumi, laghi e mari di composti contenenti fosforo, che al pari dei composti azotati sono responsabili del fenomeno dell'eutrofizzazione. Grandi quantità di fosforo vengono inoltre impiegate in diversi settori industriali, per ottenere prodotti chimici di largo uso come ad esempio pesticidi, detersivi, estintori, prodotti per la pulizia e il trattamento delle acque, prodotti elettronici e batterie, lubrificanti, leghe metalliche.

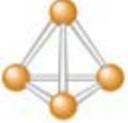
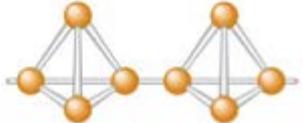
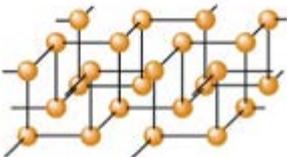
Figura 1. Il ciclo del fosforo



Fonte: Adattamento da http://scienceindia.in/home/view_article/419

Come più ampiamente descritto nel report 2019, il fosforo elementare, P_4 , non è presente in natura e può esistere sotto forma di diversi allotropi, i più diffusi dei quali sono il fosforo bianco, il fosforo rosso e il fosforo nero (Tabella 1). È dal fosforo bianco che si ricavano il fosforo rosso e il fosforo nero.

Tabella 1. Strutture e immagini delle differenti forme allotropiche del fosforo elementare.

Forma allotropica	Struttura molecolare	Immagine
Fosforo bianco		
Fosforo rosso		
Fosforo nero		

L'importanza del fosforo è sancita anche nelle azioni di policy messe in atto dall'Unione Europea. Infatti, nel 2014 la Commissione Europea (CE) ha indicato la roccia fosforica come una delle più importanti materie prime critiche (CRM) per l'economia europea¹ e il fosforo elementare è stato inserito nell'elenco dei CRM a partire dalla lista del 2017². Anche nel più recente studio del 2023³, roccia fosfatica e fosforo bianco sono considerate materie prime critiche (Commissione Europea, 2023). Per maggiori dettagli si rimanda al paragrafo 2.1.2. Qui basti accennare che nell'ottica di assicurare un approvvigionamento sostenibile, anche a livello nazionale, occorre aumentare l'efficienza in tutte le fasi della catena di valore del fosforo da un lato riducendo le perdite di fosforo e, dall'altro, aumentando i tassi di recupero.

¹ EU Commission. (2014). Study on the review of the list of critical raw materials. European Commission, Brussels. COM(2014) 0297 final.

² EU Commission. (2017). Study on the review of the list of critical raw materials. European Commission, Brussels. COM(2017) 490 final.

³ EU Commission. (2023). Annex II of Proposal for a Regulation of the European Parliament and of the Council establishing a framework for ensuring a secure and sustainable supply of critical raw materials and amending Regulations (EU) 168/2013, (EU) 2018/858, 2018/1724 and (EU) 2019/1020. COM(2023) 160 final.

Dal punto di vista del mercato, dal lato della domanda una maggiore efficienza potrebbe essere raggiunta mediante, ad esempio, il miglioramento dei processi di estrazione di P dalle rocce fosfatiche, l'ottimizzazione della formulazione dei fertilizzanti che facilitano l'applicazione ottimale del fosforo e un'applicazione degli stessi in modo appropriato in base alle esigenze delle colture, l'ottimizzazione della formulazione di mangimi per animali, la riduzione nella produzione di rifiuti alimentari, il contenimento dell'uso di fosforo nei processi industriali. Dal lato dell'offerta, occorre invece migliorare e aumentare i tassi di recupero da materie prime seconde (MPS), quali ad esempio fanghi di depurazione, effluenti zootecnici, rifiuti solidi organici, contribuendo ad incentivare il passaggio ad un modello di economia circolare.

A tal fine, un'azione intrapresa a livello nazionale è stata l'istituzione nel 2019 della Piattaforma Nazionale del Fosforo da parte dell'allora Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare che ha identificato l'Agenzia Nazionale per l'Energia, le Nuove tecnologie e lo Sviluppo economico sostenibile – ENEA quale Gestore della Piattaforma. La Piattaforma Italiana per il Fosforo riunisce tutti gli stakeholder italiani attivi in tutte le fasi del ciclo di vita del fosforo e ha il compito di individuare tecnologie, buone pratiche esistenti e strategie per la chiusura del ciclo su questa materia prima, fino all'elaborazione di un piano di sostenibilità a lungo termine. Alla piattaforma partecipano attori provenienti dal settore pubblico e privato. Ad oggi oltre 100 soggetti di 60 organizzazioni appartenenti ai vari stadi della filiera prendono parte alle attività.

Il presente report aggiorna quanto prodotto nel corso del 2019 e ne mantiene la struttura essenziale. Per tutte quelle parti introduttive e descrittive si rimanda al relativo report pubblicato sul sito della piattaforma italiana del fosforo "Analisi dei giacimenti primari di fosforo e degli utilizzi attuali del fosforo in Italia e in Europa e stima dei costi di approvvigionamento⁴".

1.1 La piattaforma europea del fosforo

La Piattaforma Europea del Fosforo - *European Sustainable Phosphorous Platform, ESPP⁵* - nasce nel marzo 2013 come organizzazione no-profit che si pone come obiettivo quello di promuovere ed implementare la sostenibilità della catena del fosforo. I membri (oltre 50), che finanziano la piattaforma con una quota associativa annuale, coprono un ampio range di attori della catena del fosforo: dall'industria estrattiva, al settore del trattamento acque e rifiuti, dal settore agricolo ed alimentare a quello del riciclo del fosforo. Da statuto⁶ possono partecipare all'ESPP compagnie, associazioni, governi, autorità locali e istituti di ricerca.

ESPP si propone di assicurare la condivisione delle conoscenze, il trasferimento di esperienze e la creazione di reti nel settore della gestione del fosforo, avvicinando in tal modo il mondo degli stakeholders a quello del mercato e della legislazione. L'assemblea generale, di cui fanno parte i diversi membri, può decidere cambi dello statuto, obiettivi, la policy e le strategie dell'ESPP stessa.

La Piattaforma Italiana del Fosforo è membro dell'ESPP⁷.

⁴<https://www.piattaformaitalianafosforo.it/it/component/jdownloads/?task=download.send&id=33&Itemid=729>.

⁵ <https://phosphorusplatform.eu/>

⁶https://phosphorusplatform.eu/images/About-us/ESPP%20statutes%20ENG%20translation%20v%201_2023.pdf

⁷ <https://phosphorusplatform.eu/espp-members>

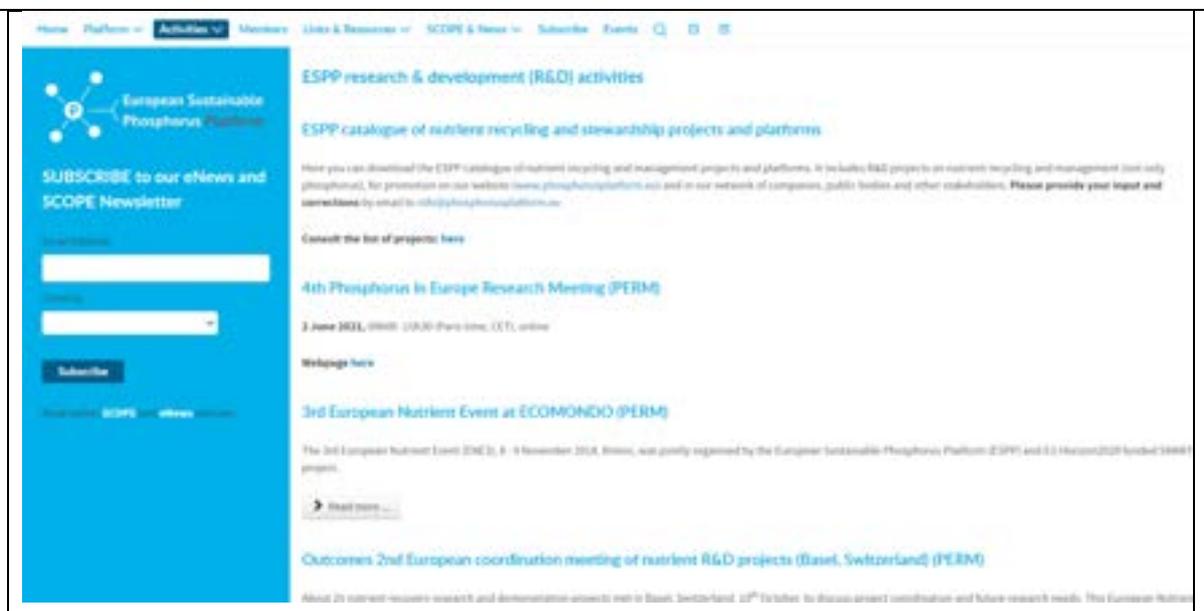
A titolo esemplificativo si riportano alcuni *screenshots* della Piattaforma. In Figura 2 si riporta la *homepage* ove è possibile trovare informazioni su eventi, conferenze e attività di ricerca di ESPP; in particolare è possibile visionare una lista di pubblicazioni recenti sulla tematica della gestione del fosforo, utili a diffondere la conoscenza nel settore e a favorire l'integrazione tra industria e ricerca.

Figura 2. La Piattaforma Europea del Fosforo.



Di particolare interesse è la sezione "Activities" (Figura 3), dove è possibile visionare, ad esempio, l'elenco dei bandi di finanziamento della ricerca dell'UE relativi al riciclaggio e alla gestione dei nutrienti ed il catalogo ESPP di progetti e piattaforme di riciclaggio e gestione dei nutrienti.

Figura 3. La Piattaforma Europea del Fosforo, sezione Activities.



Nella sezione “Success Stories” (Figura 4) sono raccolte tutte le storie di successo nel riciclaggio e nella gestione delle sostanze nutritive ed è inoltre possibile inviare il proprio caso aziendale attraverso la compilazione di un apposito modulo.

Figura 4. La Piattaforma Europea del Fosforo, sezione Success Stories.



2 Policy e legislazione sul mercato del fosforo

2.1 Il contesto europeo

2.1.1 La politica europea per favorire un'economia circolare del fosforo

Il fosforo è oggi riconosciuto quale elemento strategico data la sua importanza in diversi settori, in primo luogo quello alimentare (Sarvajayakesavalua et al., 2018). Le problematiche relative ad una corretta gestione del fosforo vengono affrontate per la prima volta a livello europeo nella Comunicazione Consultiva del 2013 sull'uso sostenibile del fosforo (COM(2013) 517 final). In particolare, in quella sede è emerso che le iniziative intraprese fino a quel momento a livello internazionale avevano come obiettivi primari quelli di far fronte ai problemi di inquinamento idrico dovuti al fosforo e ridurre la produzione di rifiuti alimentari o altri rifiuti biodegradabili contenenti fosforo. Nel documento si evidenzia anche il fatto che "promuovendo l'efficienza dell'uso e della produzione, il riciclaggio e la riduzione al minimo dei rifiuti, si potrebbero compiere grandi progressi verso l'uso sostenibile del fosforo, per indirizzare il mondo intero verso l'efficienza delle risorse e garantire la disponibilità delle riserve per le generazioni future" (COM(2013) 517 final).

Tale approccio è stato ribadito nella Comunicazione rilasciata nel 2014, in cui la Commissione Europea prendeva in considerazione lo sviluppo di un quadro politico sul fosforo per migliorare il suo riciclaggio, promuovere l'innovazione, migliorare le condizioni del mercato ed integrare il suo uso sostenibile nella legislazione europea su fertilizzanti, cibo, acqua e rifiuti (COM(2014) 398 final).

In aggiunta, nel piano d'azione per la chiusura dei cicli, stilato nel 2015, viene evidenziata la necessità di intraprendere azioni per incoraggiare il recupero delle materie prime critiche e di stilare un report contenente le best practices (COM(2015) 614 final). Il documento sottolineava come il riciclo dei nutrienti ed il loro utilizzo sostenibile in agricoltura consente di ridurre la necessità di far ricorso a fertilizzanti a base minerale, la cui produzione ha impatti ambientali negativi e dipende dalle importazioni di fosfato, risorsa limitata. L'utilizzo di tali nutrienti è tuttavia ostacolato dal fatto che la legislazione in materia e gli standard di qualità differiscono fra i vari Stati membri. Per far fronte a ciò, la Commissione ha proposto una revisione del regolamento sui fertilizzanti che comporta l'adozione di nuove misure per facilitare il riconoscimento a livello europeo di fertilizzanti organici e da rifiuti, stimolando in tal modo lo sviluppo sostenibile di un loro mercato su scala europea.

Nel 2016 viene pubblicata una proposta di regolamentazione delle norme relative all'immissione sul mercato di fertilizzanti recanti la marcatura CE (COM (2016) 157). Tale proposta, ritenuta fondamentale nell'ambito del piano d'azione per l'economia circolare, si poneva come obiettivo quello di incentivare la produzione su larga scala di concimi ottenuti da materie prime nazionali, organiche o secondarie, mediante la trasformazione dei rifiuti in nutrienti. In tal modo è possibile perseguire una serie di obiettivi dell'economia circolare, tra cui la valorizzazione delle materie prime secondarie, l'aumento dell'efficienza delle risorse e la riduzione della dipendenza dalle importazioni di materie prime essenziali per l'agricoltura europea.

Come anticipato nel comunicato stampa del 22 maggio 2018⁸, il pacchetto europeo di misure sull'economia circolare, approvato in via definitiva il 22 maggio 2018, modifica sei direttive in materia di rifiuti e discariche: la direttiva quadro sui rifiuti (2008/98/CE) e le direttive "speciali" in materia di rifiuti di imballaggio (1994/62/CE), discariche (1999/31/CE), rifiuti di apparecchiature elettriche ed

⁸ http://europa.eu/rapid/press-release_IP-18-3846_it.htm.

elettroniche (2012/19/UE), veicoli fuori uso (2000/53/CE) e rifiuti di pile e accumulatori (2006/66/CE). I principali obiettivi introdotti riguardano: il riciclaggio entro il 2025 per almeno il 55% dei rifiuti urbani (60% entro il 2030 e 65% entro il 2035); la riduzione dello smaltimento in discarica (10% entro il 2035), il riciclaggio del 65% degli imballaggi entro il 2025 e il 70% entro il 2030; la raccolta separata dei rifiuti domestici pericolosi (entro il 2022), dei rifiuti organici (entro il 2023) e dei rifiuti tessili (entro il 2025).

Risale al marzo 2019 la pubblicazione della relazione completa da parte della Commissione Europea (COM(2019) 190 final), sull'attuazione del piano d'azione per l'economia circolare adottato nel dicembre 2015. In tale documento, contenente i principali risultati ottenuti nonché le sfide aperte, si fa riferimento nuovamente al nuovo regolamento sui fertilizzanti (COM (2016) 157). Si sottolinea come tale regolamento abbia introdotto norme armonizzate per i fertilizzanti organici ottenuti da materie prime secondarie, quali sottoprodotti agricoli e rifiuti organici recuperati, e come esso possa rappresentare un utile strumento per contribuire a ridurre gli ostacoli all'ingresso sul mercato dei suddetti prodotti.

Nell'ambito del Green Deal europeo, l'11 marzo 2020 la Commissione europea ha presentato un nuovo piano d'azione per l'economia circolare (COM/2020/98 final). Facendo leva sulle misure attuate a partire dal 2015, il piano prevede, tra l'altro, la progressiva introduzione di un quadro strategico in materia di prodotti sostenibili, con azioni riguardanti la progettazione dei prodotti, la possibilità per consumatori e acquirenti pubblici di operare scelte informate e una maggiore circolarità dei processi produttivi. Esso propone di concentrarsi in via prioritaria sulle principali catene di valore, tra cui elettronica e ICT; batterie e veicoli; imballaggi; plastica; prodotti tessili; costruzione ed edilizia; prodotti alimentari, acque e nutrienti. Il nuovo piano d'azione prevede, in particolare, che la Commissione elaborerà un piano integrato di gestione dei nutrienti, al fine di garantirne un'applicazione più sostenibile e di incentivare i mercati dei nutrienti recuperate, nonché valuterà la possibilità di rivedere le direttive relative al trattamento delle acque reflue e ai fanghi di depurazione. Il nuovo piano mira, inoltre, a gestire le esportazioni di rifiuti dall'UE, a promuovere l'economia circolare a livello internazionale, e ad aggiornare il quadro di monitoraggio dei progressi compiuti nella transizione verso l'economia circolare.

Per favorire la transizione verso un'economia verde e digitale e rafforzare la resilienza e l'autonomia dell'Europa rispetto alle tecnologie chiave per la transizione, la Commissione Europea pubblica una Comunicazione contenente un piano d'azione dell'UE per le materie prime critiche e la lista aggiornata dei CRMs (Commissione Europea, 2020). Il piano d'azione, in particolare, mira a:

- sviluppare catene del valore resilienti per gli ecosistemi industriali dell'UE;
- ridurre la dipendenza dalle materie prime critiche primarie mediante l'uso circolare delle risorse, i prodotti sostenibili e l'innovazione;
- rafforzare l'approvvigionamento interno di materie prime nell'UE;
- diversificare l'approvvigionamento dai paesi terzi e rimuovere le distorsioni del commercio internazionale, nel pieno rispetto degli obblighi internazionali dell'UE.

Nel dettaglio il Piano prevede 10 azioni da mettere in pratica dal 2020 e fino al 2025 (Tabella 2).

Tabella 2. Obiettivi e azioni del Piano d'azione dell'UE per le materie prime critiche

Obiettivi	Azioni	Tempistica	Attori
Catene del valore resilienti per gli ecosistemi industriali dell'UE	Azione 1 - Avviare un'alleanza europea per le materie prime promossa dall'industria, inizialmente volta a sviluppare la resilienza e l'autonomia strategica aperta per la catena del valore delle terre rare e dei magneti, per poi estendersi ad altre materie prime.	Terzo trimestre 2020	Industria, Commissione, investitori, Banca europea per gli investimenti, portatori di interessi, Stati membri, regioni
	Azione 2 - Elaborare criteri di finanziamento sostenibile per i settori delle attività estrattive, minerarie e di trasformazione negli atti delegati sulla tassonomia	Entro la fine del 2021.	piattaforma sulla finanza sostenibile, Commissione
Uso circolare delle risorse, prodotti sostenibili e innovazione	Azione 3 - Avviare la ricerca e l'innovazione sulle materie prime critiche per quanto riguarda il trattamento dei rifiuti, i materiali avanzati e la sostituzione, utilizzando Orizzonte Europa, il Fondo europeo di sviluppo regionale e i programmi nazionali di ricerca e innovazione	2021	Commissione, Stati membri, regioni, comunità di ricerca e innovazione.
	Azione 4 - Mappare il potenziale approvvigionamento di materie prime critiche secondarie provenienti da scorte e rifiuti dell'UE e individuare progetti di recupero realizzabili	Entro il 2022	Commissione, EIT materie prime
Approvvigionamento dall'Unione europea	Azione 5 - Individuare i progetti di estrazione mineraria e di trasformazione, le esigenze di investimento e le relative opportunità di finanziamento per le materie prime critiche nell'UE che possono essere operativi dando priorità alle regioni carbonifere	Entro il 2025	Commissione, Stati membri, regioni, portatori di interessi.
	Azione 6 - Sviluppare le competenze e le capacità nelle tecnologie estrattive, minerarie e di trasformazione nel quadro di una strategia di transizione equilibrata nelle regioni in transizione	Dal 2022 in poi	Commissione, industria, sindacati, Stati membri e regioni
	Azione 7 - Attuare programmi di osservazione della Terra e telerilevamento per l'esplorazione delle risorse, il funzionamento dei siti e la gestione ambientale nella fase post-chiusura	-	Commissione, industria
	Azione 8 - Elaborare progetti di ricerca e innovazione nell'ambito di Orizzonte Europa relativi ai processi di sfruttamento e trasformazione delle materie prime critiche per ridurre l'impatto ambientale	A partire dal 2021	Commissione, comunità di ricerca e innovazione
Approvvigionamento diversificato da paesi terzi	Azione 9 - Sviluppare partenariati strategici internazionali e i relativi finanziamenti per garantire un approvvigionamento diversificato e sostenibile di materie prime critiche, anche mediante condizioni commerciali e di investimento senza distorsioni, a partire da partenariati pilota con il Canada, i paesi interessati in Africa e i paesi del vicinato dell'UE	2021	Commissione, Stati membri, industria e controparti di paesi terzi
	Azione 10 - Promuovere pratiche minerarie responsabili per le materie prime critiche attraverso il quadro normativo dell'UE e la pertinente cooperazione internazionale	Proposte nel 2020-2021	Commissione, Stati membri, industria, organizzazioni della società civile

Fonte: Commissione UE, Resilienza delle materie prime critiche: tracciare un percorso verso una maggiore sicurezza e sostenibilità, COM(2020) 474 final)

Nel 2021, con la Strategia dell'UE per il suolo per il 2030 (COM(2021) 699 final)⁹, la Commissione europea definisce le misure per proteggere, ripristinare lo stato dei suoli degradati e garantire che siano utilizzati in modo sostenibile. Nella Strategia si evidenziano i vantaggi del riciclo di materiali organici che, tuttavia, deve essere eseguito con modalità sicure e sostenibili per prevenire l'inquinamento del suolo. A tal fine la Commissione annuncia che, entro il 2022, intende rivedere la direttiva sul trattamento delle acque reflue urbane e l'elenco degli inquinanti delle acque di superficie e sotterranee, valutare la direttiva sui fanghi di depurazione e adottare un piano d'azione per la gestione integrata dei nutrienti (INMAP) per promuovere un utilizzo più sicuro dei nutrienti nel suolo.

Nel 2023, la Commissione Europea pubblica il Report *“Knowledge for Integrated Nutrient Management Action Plan (INMAP)”*¹⁰ che raccoglie le conoscenze scientifiche e i dati disponibili nell'UE per supportare la discussione e la preparazione dell'INMAP che riguarderà tutti i settori e i comparti ambientali coinvolti nei cicli dell'azoto (N) e del fosforo (P).

Nel 2023, entra in vigore anche la Politica Agricola Comune (PAC) 2023-2027¹¹ che si concentra su dieci obiettivi specifici, collegati agli obiettivi comuni dell'UE in materia di sostenibilità sociale, ambientale ed economica nell'agricoltura e nelle zone rurali. Ogni Paese dell'UE attuerà un piano strategico della nuova PAC.

2.1.2 Il fosforo come materia prima critica

Come detto, la roccia fosfatica e il fosforo sono state inserite nella lista europea di materie prime critiche in momenti storici diversi. La roccia fosfatica è stata inserita nella seconda lista di CRMs pubblicata nel 2014 (Commissione Europea, 2014), mentre è nella terza che compare per la prima volta anche il fosforo elementare (Commissione Europea, 2017). Nella quarta (Commissione Europea, 2020) e nella quinta lista (Commissione Europea, 2023) entrambe sono confermate tra i CRMs.

In particolare, informazioni di dettaglio sulle materie prime critiche “roccia fosfatica” e “fosforo” sono contenute in:

- Allegato 1 (“Elenco delle materie prime critiche”) e Allegato 2 (“Rilevanza delle materie prime critiche per gli ecosistemi industriali”) della Comunicazione COM(2020) 474 final.
- “Studio sull'elenco delle materie prime critiche per l'UE (2020) – Report finale”; elaborato nel 2020 dalla Commissione Europea - Direzione generale Mercato interno, industria, imprenditoria e PMI | JRC.
- “Studio sull'elenco dell'UE delle materie prime critiche per l'UE (2020), Schede sulle materie prime critiche (finale)” elaborato nel 2020 dalla Commissione Europea - Direzione generale

⁹ COMUNICAZIONE DELLA COMMISSIONE AL PARLAMENTO EUROPEO, AL CONSIGLIO, AL COMITATO ECONOMICO E SOCIALE EUROPEO E AL COMITATO DELLE REGIONI, Strategia dell'UE per il suolo per il 2030 - Suoli sani a vantaggio delle persone, degli alimenti, della natura e del clima, Bruxelles, 17.11.2021.

¹⁰ Grizzetti, B, Vigiak, O, Aguilera, E, Aloe, A, Biganzoli, F, Billen, G, Caldeira, C, de Meij, A, Egle, L, Einarsson, R, Garnier, J, Gingrich, S, Hristov, J, Huygens, D, Koeble, R, Lassaletta, L, Le Noë, J, Liakos, L, Lugato, E, Panagos, P, Pisoni, E, Pistocchi, A, Sanz Cobena, A, Udias, A, Weiss, F, Wilson, J, Zanni, M, Knowledge for Integrated Nutrient Management Action Plan (INMAP), Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2023, doi:10.2760/692320, JRC129059.

<https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC129059>

¹¹ <https://www.consilium.europa.eu/it/policies/cap-introduction/cap-future-2020-common-agricultural-policy-2023-2027/>

Mercato interno, industria, imprenditoria e PMI | JRC. Le Schede informative delle singole materie prime risultano pubblicate nel Sistema di Informazione dell'UE sulle Materie Prime (RMIS)¹².

- Studio sulle materie prime critiche per l'UE (2023) Final Report

Con i Report e le Schede sulle materie prime critiche sopracitati la Commissione Europea fornisce: una panoramica sulla roccia fosfatica e sul fosforo elementare, un'analisi di mercato, degli scambi e prezzi; dati sulla domanda europea e sulla la fornitura; altre considerazioni (es. questioni ambientali e di salute e sicurezza; un confronto con le precedenti valutazioni dell'UE; le fonti dei dati).

In tema di "sostituzione" del fosforo, la Commissione evidenzia che non esistono sostituti della roccia fosfatica per la produzione di fertilizzanti (ESPP, 2019). Le opportunità esistenti per altre fonti di fosforo sono rappresentate dal tasso di riciclo a fine vita applicato del 17%, piuttosto che da una riduzione del rischio di approvvigionamento derivante dalla sostituzione. La sostituzione del fosforo elementare P_4 , e quindi anche della roccia fosfatica, in altre applicazioni chimiche è fissata allo 0% perché molte di queste applicazioni sono sostanze chimiche specifiche a base di fosforo per le quali non è disponibile alcun sostituto (ESPP, 2019) (esempio: sicurezza antincendio, dove si stanno sviluppando ritardanti di fiamma a base di fosforo per sostituire le sostanze alogenate). Per le sue applicazioni in agricoltura, precisa la Commissione, la roccia fosfatica può essere sostituita da fonti secondarie di fosforo come il letame, i liquami e i rifiuti alimentari (flussi di rifiuti biogeni). L'EoL-RIR (End-of-Life Recycling Input Rate) dovrebbe tradurre la percentuale con cui il riciclo dei flussi di rifiuti biogeni sostituisce l'uso di fertilizzanti minerali a base di fosfato (cioè, il materiale in ingresso primario). Tuttavia, sottolinea la Commissione, non esistono dati utilizzabili sul tasso di riutilizzo effettivo del fosforo per i concimi e altre forme organiche. Pertanto, conclude la Commissione, è necessario generare dati appropriati e definire indicatori per questo tasso di riciclo, in coerenza con gli indicatori di altre politiche (economia circolare/regolamento sui prodotti fertilizzanti, direttiva quadro sulle acque, PAC, impatti dei progetti della DG Ricerca) (ESPP, 2019). Nella scheda sul fosforo, la Commissione precisa che esistono processi per produrre potenzialmente fosforo elementare P_4 da flussi di rifiuti ricchi di fosforo (ad esempio il processo ICL Recophos per produrre P_4 dalle ceneri di incenerimento dei fanghi di depurazione o dalle ceneri delle farine di carne e ossa), ma sono solo su scala pilota e nessun impianto industriale è ancora in costruzione o operativo, né nel contesto europeo né altrove (ESPP, 2019). Inoltre, la Commissione evidenzia che per garantire il recupero dei fosfati, diversi Paesi europei hanno creato una specifica legislazione (esempi di tali Paesi sono la Germania, la Finlandia e la Svizzera). Per l'aspetto ambientale e di salute e sicurezza, nella scheda relativa al fosforo, la Commissione evidenzia che i volumi di fosforo che finiscono nel suolo e nelle acque sotterranee influenzano in modo considerevole e negativo i processi biochimici. In particolare, gli ecosistemi acquatici ne risentono a causa del processo di eutrofizzazione. Quest'ultimo ha a sua volta un effetto sulla biodiversità dal momento che le popolazioni di animali acquatici sono influenzate da nuove specie invasive che beneficiano di bilanci di risorse differiti (ad esempio alghe) (Sutton et al., 2013).. A titolo di esempio la Commissione riporta che, in diversi Stati membri dell'Unione Europea, lo scarico di fosforo nell'ambiente è il principale fattore (oltre alla modifica morfologica) che causa il mancato raggiungimento dei livelli di qualità fissati dalla Direttiva Quadro sulle Acque dell'UE (Leaf, 2015). Il fosforo elementare è la forma di fosforo la cui produzione presenta i più alti livelli di fabbisogno energetico. La Commissione evidenzia inoltre che ci sono preoccupazioni legate alla contaminazione del suolo con metalli pesanti provenienti dai minerali di fosfato, come il cadmio. Il regolamento sui

¹² <https://rmis.jrc.ec.europa.eu/?page=factsheets-2020-dfe63e>

prodotti fertilizzanti (Regolamento (UE) 2019/1009), ad esempio, introduce limiti per i metalli pesanti nei fertilizzanti fosfatici al fine per ridurre i potenziali rischi per la salute e l'ambiente.

Nel report prodotto nel 2018 dalla Commissione Europea sui CRMs, si sottolinea come il riciclo di fosforo da matrici secondarie sia di primaria importanza, anche per aiutare a prevenire fenomeni di eutrofizzazione (Commissione Europea, 2018). Tra i substrati più promettenti per il recupero di fosforo vi sono le deiezioni animali, le acque reflue e i rifiuti della filiera alimentare, specialmente quelli derivanti dai mattatoi (Commissione Europea, Direzione Generale per la Ricerca e l'Innovazione, 2015).

Nel report di previsione sul fabbisogno di materiali per le tecnologie in crescita, come quelle per l'energia pulita (fotovoltaico, eolico, stoccaggio), la mobilità elettrica e le tecnologie digitali (ICT, robotica, stampa 3D), prodotto nel 2020 dalla Commissione Europea e basato principalmente sugli scenari di neutralità climatica dell'UE per il 2050, la Commissione Europea include il fosforo tra le materie prime utilizzate in diverse tecnologie strategiche e con un alto rischio di approvvigionamento (Commissione Europea, JRC, 2020).

Il 29 settembre 2020, la Commissione Europea ha lanciato l'European Raw Material Alliance (ERMA), con il fine di garantire un approvvigionamento sostenibile di materie prime per la transizione verde dell'Europa. L'alleanza ha il compito di riunire diversi stakeholders, rafforzare la resilienza e l'autonomia strategica dell'Unione, individuare gli ostacoli, le opportunità e le possibilità di investimento in tutte le fasi della catena del valore delle materie prime critiche, affrontando allo stesso tempo la sostenibilità ambientale e sociale. In linea con tali obiettivi, ERMA sostiene la società Norge Mining nell'assicurare finanziamenti per l'approvvigionamento responsabile di minerali cruciali in Norvegia, dopo l'annuncio, nel 2021, della scoperta di oltre 70 miliardi di tonnellate di roccia fosfatica nel sud-ovest della Norvegia.

Nel 2021, nella Risoluzione sulla Strategia Europea per le Materie Prime Critiche, il Parlamento Europeo chiede che ai fini della diversificazione si intensifichino le pratiche agricole sostenibili benefiche per una gestione sostenibile del fosforo; sottolinea le sinergie di tali pratiche con la riduzione dell'impronta climatica e dell'impronta di biodiversità (Parlamento Europeo, 2021).

La Commissione Europea ha messo a punto una serie di principi volontari (sociali, economici e di governance, ambientali), non obbligatori, dell'UE per le materie prime sostenibili, basati sui valori sanciti dai trattati dell'UE e applicabili alle fasi di estrazione e trasformazione delle materie prime non energetiche e all'intero ciclo di vita delle catene del valore dei minerali (Commissione Europea, 2021).

Nel 2023, la roccia fosfatica e il fosforo elementare rientrano in una proposta di regolamento sulle materie prime critiche (cd. "Critical Raw Material Act"), presentata dalla Commissione Europea (COM(2023) 160 final)¹³. Il CRM Act stabilisce un quadro comune volto a garantire un approvvigionamento più sicuro, diversificato e sostenibile delle materie prime critiche, rafforzando anche la circolarità all'interno della catena del valore e sostenendo la ricerca e l'innovazione. La proposta, che è la prima iniziativa legislativa in questo settore, è accompagnata da una Comunicazione della Commissione europea che preannuncia ulteriori azioni in questa direzione (COM(2023)165final). Le misure proposte provvedono pertanto a rafforzare le diverse fasi della catena del valore di tali materie all'interno dell'UE definendo, tra l'altro, obiettivi nazionali di estrazione, lavorazione e riciclaggio al 2030. Tali obiettivi sono fissati rispettivamente almeno al 10%, al 40% e al 15% del

¹³ Proposta di REGOLAMENTO DEL PARLAMENTO EUROPEO E DEL CONSIGLIO che istituisce un quadro atto a garantire un approvvigionamento sicuro e sostenibile di materie prime critiche e che modifica i regolamenti (UE) n. 168/2013, (UE) 2018/858, (UE) 2018/1724 e (UE) 2019/1020. Bruxelles, 16.3.2023

consumo annuale dell'Unione. Al fine di garantire la diversificazione degli approvvigionamenti la proposta stabilisce poi che non sarà possibile importare più del 65% del consumo annuale dell'UE da un singolo Paese terzo. Inoltre, le materie prime critiche e i prodotti che le contengono dovranno circolare liberamente nel mercato dell'UE e dovrà essere garantito al contempo un alto livello di protezione ambientale migliorando la loro circolarità e sostenibilità. La proposta prevede anche il sostegno ai progetti dell'UE che coprono l'intera catena del valore delle materie prime critiche. Saranno applicate procedure più snelle per i "progetti strategici", ossia quelli che assicurano un aumento delle capacità dell'UE, che sono facili da realizzare e che rispettano standard sociali e ambientali. A tal fine viene stilato un elenco di 16 materie prime critiche strategiche, mentre viene ampliato l'attuale elenco delle materie prime critiche. I progetti strategici saranno finanziati da investimenti privati e mediante sostegno pubblico, come gli aiuti di stato. Ulteriori disposizioni della proposta mirano a migliorare la capacità dell'Unione di monitorare e mitigare il rischio di approvvigionamento legato alle materie prime critiche. A livello di governance, un Board, presieduto dalla Commissione europea, vigilerà sul mercato, identificherà i rischi di strozzature e promuoverà i progetti strategici. La sicurezza dell'approvvigionamento sarà garantita anche mediante partenariati strategici con i paesi terzi, mentre un "Club delle materie prime" riunirà i paesi consumatori e paesi ricchi di materie prime critiche per discutere di forme di investimento sostenibili, accesso ai mercati ecc. Infine, un'Accademia delle materie prime critiche si occuperà di promuovere le competenze necessarie per sostenere la diffusione di tecnologie dalle materie prime critiche.

Dal documento "Analisi della catena di approvvigionamento e previsione della domanda di materiali in tecnologie e settori strategici nell'UE - Uno studio previsionale" elaborato dal Centro comune di ricerca (JRC) della Commissione europea nel 2023, il fosforo si conferma ancora tra le materie prime utilizzate in diverse tecnologie strategiche e con un alto rischio di approvvigionamento (Commissione Europea, JRC, 2023). In Figura 5 e Figura 6 si riportano i profili del fosforo elementare e della roccia fosfatica così come delineati dal Raw Materials information System del JRC.

Figura 5. Scheda informativa Fosforo estratta dal Sistema di Informazione dell'UE sulle Materie Prime



Fonte: RMIS, 2023

Figura 6 Scheda informativa Roccia fosfatica estratta dal Sistema di Informazione dell'UE sulle Materie Prime (RMIS)



Fonte: RMIS, 2023

Il 13 novembre 2023 Consiglio e Parlamento europeo raggiungono un accordo provvisorio sul Critical Raw Materials Act. Il testo concordato, che richiede l'adozione formale da parte di entrambe le istituzioni, sarà sottoposto a votazione plenaria nel mese di dicembre¹⁴.

Il testo di compromesso¹⁵ mantiene gli obiettivi generali della proposta originaria ma introduce diverse novità:

- Il parametro di riferimento per la capacità di riciclaggio di materie prime strategiche dell'UE aumenta al 25 % del consumo annuo di materie prime strategiche dell'UE entro il 2030. L'UE dovrebbe essere in grado di riciclare una quantità crescente di ciascuna materia critica.
- Entro il 1° gennaio 2027, la Commissione adotterà un atto delegato al fine di stabilire parametri di riferimento per ciascuna materia prima strategica contenuta nei pertinenti flussi di rifiuti.
- La durata della procedura di rilascio delle autorizzazioni per i progetti strategici non dovrebbe essere superiore a 27 mesi per i progetti strategici che riguardano l'estrazione e a 15 mesi per i progetti strategici che riguardano la trasformazione e il riciclaggio (il tempo necessario per elaborare una relazione sulla valutazione dell'impatto ambientale non sarà incluso nella durata della procedura di rilascio delle autorizzazioni).
- Vi sarà un solo punto di contatto unico per livello amministrativo pertinente e per fase della catena del valore delle materie prime critiche per ciascuno Stato membro.
- La Commissione adotterà atti delegati per stabilire un contenuto minimo di riciclato nei magneti permanenti per alcune materie prime critiche recuperate dai rifiuti entro il 31 dicembre 2031.

¹⁴ In attesa dell'adozione formale, il testo concordato è stato approvato il 29 novembre dal Comitato dei Rappresentanti permanenti dei governi degli Stati membri dell'Unione europea (COREPER) e il 7 dicembre dalla Commissione per l'industria, la ricerca e l'energia (ITRE) del Parlamento Europeo.

¹⁵ <https://data.consilium.europa.eu/doc/document/ST-16127-2023-INIT/en/pdf>

2.1.3 La normativa europea sul fosforo

La legislazione sul fosforo fa parte di numerose direttive, regolamenti e piani d'azione. Le direttive vincolano il singolo Stato, a cui si rivolge, rispetto al solo fine, mentre gli lascia discrezionalità per la scelta dei mezzi e della forma con cui realizzarlo. L'ordinamento interno deve in questo caso essere adattato alla direttiva con atto di recepimento, ossia una misura di esecuzione. I Regolamenti sono invece atti legislativi vincolanti: hanno portata generale, sono obbligatori in tutti i loro elementi e sono direttamente applicabili. La legislazione nazionale o regionale sul fosforo fa parte dell'attuazione delle direttive e applicazione dei Regolamenti UE per ridurre l'inquinamento ambientale. Gli Stati membri possono, inoltre, intraprendere azioni in linea con la politica agricola comune (PAC) dell'UE. Anche le convenzioni contribuiscono alla legislazione nazionale o regionale. Uno degli obiettivi della Convenzione OSPAR (Convenzione per la protezione dell'ambiente marino dell'Atlantico nord-orientale) è, ad esempio, quello di ridurre gli input di azoto e fosforo del 50% rispetto ai livelli di input del 1985 (OSPAR Commission, 2008).

La sfida della sostenibilità della catena del fosforo è resa complessa dal fatto che non in tutti i Paesi dell'Unione Europea esiste una regolamentazione sull'uso del fosforo (Amery e Schoumans, 2014). Molti Paesi sono dotati di normative volte a regolamentare gli utilizzi del fosforo in agricoltura (come la Direttiva Nitrati e la Direttiva Quadro sulle Acque) e hanno adottato misure volte a garantire un uso efficiente della risorsa; tuttavia, tali riferimenti normativi risultano a volte essere discordanti e di non facile accessibilità.

Tabella 3. Normativa europea relativa al fosforo

Norma	Riferimento	Proposta di modifica in corso
Direttiva sul trattamento delle acque reflue urbane	91/271/EEC	COM(2022) 541 final
Direttiva Nitrati	91/676/EEC	
Direttiva Quadro sulle Acque	2000/60/EC	COM(2022) 540 final
Direttiva sulla protezione delle acque sotterranee dall'inquinamento e dal deterioramento	2006/118/EC	COM(2022) 540 final
Direttiva sulla strategia per l'ambiente marino	2008/56/EC	
Direttiva Rifiuti	2008/98/EC	
Direttiva sulle Emissioni Industriali	2010/75/EU	COM(2022) 156 final
Regolamento fertilizzanti UE	2019/1009/UE	
Regolamento per il riutilizzo dell'acqua in agricoltura	2020/741/UE	
Regolamento che istituisce un quadro atto a garantire un approvvigionamento sicuro e sostenibile di materie prime critiche (Proposta)	COM(2023) 160 final	
Direttiva sul monitoraggio del suolo e la resilienza (Proposta)	COM(2023) 416 final	

Fonte: Elaborazione ENEA

Dal 16 luglio 2022 il regolamento (UE) 2019/1009 ha sostituito e abrogato il regolamento (CE) n. 2003/2003. Il nuovo Regolamento ha aperto il mercato unico dell'Unione europea a prodotti fertilizzanti in precedenza non disciplinati da norme di armonizzazione, tra cui i concimi organici e concimi organico-minerali, ammendanti del suolo, inibitori, biostimolanti delle piante o substrati di coltivazione. Ha stabilito norme comuni in materia di sicurezza, requisiti di qualità ed etichettatura per i prodotti fertilizzanti e ha introdotto per la prima volta limiti relativi ai contaminanti tossici. Il

Regolamento (UE) 2019/1009 ha mantenuto, inoltre, un'armonizzazione facoltativa, in quanto non osta alla messa a disposizione di prodotti fertilizzanti non armonizzati sul mercato interno conformemente al diritto nazionale e alle norme generali sulla libera circolazione.

Dal 2021, la Commissione Europea ha adottato diversi atti delegati per modificare o integrare il Regolamento UE n. 1009/2019, indicati nella Tabella seguente, al fine di consentire l'utilizzo di alcuni flussi di rifiuti e sottoprodotti come materiali costituenti (CMC) nella produzione di fertilizzanti a marchio CE.

Tabella 4. Atti delegati di modifica e/o integrazione del Regolamento sui fertilizzanti

Atto delegato	Oggetto
Regolamento (UE) 2023/409	modifica il regolamento (UE) 2019/1009 per quanto riguarda il tenore minimo di ossido di calcio in concimi inorganici solidi semplici a base di macroelementi
Regolamento (UE) 2022/1519	stabilisce le prescrizioni applicabili ai prodotti fertilizzanti dell'Unione contenenti composti inibitori e al post-trattamento del digestato
Regolamento (UE) 2022/1171	modifica gli allegati II, III e IV al fine di aggiungere i materiali di elevata purezza recuperati ¹⁶ come categoria di materiali costituenti nei prodotti fertilizzanti dell'Unione
Regolamento (UE) 2022/973	stabilisce i criteri in materia di efficienza agronomica e sicurezza per l'uso dei sottoprodotti nei prodotti fertilizzanti dell'Unione
Regolamento (UE) 2021/2088	modifica gli allegati II, III e IV al fine di aggiungere i materiali di pirolisi e gassificazione come categoria di materiali costituenti nei prodotti fertilizzanti dell'Unione
Regolamento (UE) 2021/2087	modifica gli allegati II, III e IV al fine di aggiungere i materiali di ossidazione termica e i loro derivati come categoria di materiali costituenti nei prodotti fertilizzanti dell'Unione
Regolamento (UE) 2021/2086	modifica gli allegati II e IV al fine di aggiungere i precipitati di sali di fosfato e i loro derivati come categoria di materiali costituenti nei prodotti fertilizzanti dell'Unione
Regolamento (UE) 2021/1768	modifica, ai fini dell'adeguamento al progresso tecnico, gli allegati I, II, III e IV

Fonte: Elaborazione ENEA

Nell'ottobre 2022, la Commissione Europea ha presentato, inoltre, una proposta di revisione della direttiva sul trattamento delle acque reflue urbane (COM(2022) 541 final), per allinearla agli obiettivi politici dell'UE in materia di azione per il clima, riduzione dell'inquinamento e economia circolare. Tra le misure principali della proposta: emissioni di nutrienti ulteriormente ridotte con valori limite più rigorosi per il trattamento di azoto e fosforo; definizione (con mandato alla Commissione EU) di tassi

¹⁶ I materiali di elevata purezza individuati dal JRC sono sali di ammonio, sali di solfato, sali di fosfato, zolfo elementare, carbonato di calcio e ossido di calcio.

minimi di recupero a livello dell'Unione per assicurare che i nutrienti, tra cui il fosforo in quanto sostanza critica, siano recuperati dai fanghi in modo corretto e sicuro.

Nel 2023, la Commissione Europea ha pubblicato altresì una proposta di Direttiva sul monitoraggio del suolo nota come “*Soil Health Law*” (COM(2023) 416 final) , con l’obiettivo di istituire un quadro solido e coerente di monitoraggio del suolo per tutti i suoli nell'UE e migliorare costantemente la loro salute al fine di conseguire suoli sani entro il 2050. Per monitorare e valutare la salute del suolo, la direttiva indica descrittori del suolo e criteri di salute del suolo, nonché metodologie da seguire e limiti analitici di alcuni parametri. Tra i descrittori del suolo è presente il “fosforo estraibile”.

Per quanto riguarda l’utilizzo dei fanghi di depurazione in agricoltura, la normativa è stata in passato sintetizzata da Canziani e Di Cosmo (2018). Gli Autori sottolineano come la possibilità di recuperare prodotti dai fanghi di depurazione dipenda da una serie di fattori: lo sviluppo di direttive comunitarie e specifiche legislazioni nazionali volte a favorire/incentivare l’economia circolare e gli *End of Waste*, il rispetto delle specifiche tecniche e dei requisiti normativi del prodotto recuperato, gli impatti socio/economici ed ambientali (misurabili con analisi del ciclo di vita del prodotto), le capacità tecniche, il migliore sfruttamento e utilizzo delle infrastrutture esistenti, il modello di business dei processi e delle tecnologie di recupero, così come l’accettabilità dei prodotti recuperati da parte degli utilizzatori finali.

A livello prospettico l’accettabilità di tali prodotti dipenderà dal livello qualitativo raggiunto e dall’apporto positivo che essi possono eventualmente apportare alle coltivazioni. È importante inoltre sottolineare come i decreti ministeriali per la cessazione della qualifica di rifiuto (*End of Waste*) dovranno necessariamente porre condizioni mirate alla difesa ambientale e alla risoluzione, ove possibile, di situazioni ambientali critiche, in primo luogo l’eutrofizzazione.

L’aggiornamento della normativa attuale in ambito europeo è riportato in Tabella 5.

Tabella 5. Quadro normativo europeo sui fanghi.

Norma	Sintesi	Descrizione
86/278/CE	Direttiva fanghi	Regola l'utilizzo dei fanghi, specifica i valori massimi previsti per i metalli pesanti nel suolo e nei fanghi e definisce le quantità annue massime per lo spandimento sui terreni.
91/676/CE	Direttiva Nitrati	Stabilisce misure di protezione dall'impatto dei nitrati sul suolo. La direttiva contribuisce a gestire i flussi di azoto e fosforo.
2008/98/CE e ss.mm.ii	Direttiva Rifiuti	Definisce il compito delle autorità nazionali per la prevenzione e la gestione dei rifiuti, promuove riuso e riciclo e stabilisce i criteri per la difesa dell'ambiente.
Documento 21 09 2010	Working document on sludge and bio-waste	Primi accenni alla produzione e al consumo sostenibile.
SWD/2023/0158 final	Commission Staff Working Document	Sintesi esecutiva della valutazione della Direttiva 86/278/CEE del Consiglio, del 12 giugno 1986, concernente la protezione dell'ambiente, in particolare del suolo, nell'utilizzazione dei fanghi di depurazione in agricoltura.

Fonte: Elaborazione ENEA su adattamento da Canziani e Di Cosmo, 2018

Nel 2022, la Commissione UE ha pubblicato un documento di valutazione della vigente direttiva fanghi (SSD) (Commission Staff Working Document, SWD/2023/0158 final). Nel documento, l'SSD è ritenuta in linea con la gerarchia dei rifiuti, e i suoi obiettivi allineati, in via generale, con le altre normative ambientali e sanitarie, oltre che con le politiche collegate delineate nella direttiva sui rifiuti. Tuttavia - si legge nel documento - nella pratica questa coerenza sarebbe pienamente garantita se i rischi legati ai contaminanti presenti nei fanghi fossero rivalutati, in particolare rivedendo i valori limite e l'insieme degli inquinanti che regolamenta. Si sostiene inoltre possano esistere sinergie e compromessi tra i diversi fattori di scelta per la gestione dei fanghi e che, quindi, l'applicazione di un mix di tecniche, in funzione dei contesti locali, potrebbe aiutare a massimizzare i benefici e a minimizzare gli impatti negativi sulle diverse dimensioni della sostenibilità interessate dalla gestione dei fanghi. A tal fine, nel documento viene evidenziata pertanto l'importanza di mantenere la flessibilità di scelta per la gestione dei fanghi. Per quanto riguarda invece la semplificazione normativa, il documento sottolinea la possibilità di sfruttare le sinergie con la futura legislazione sui rifiuti, sul suolo o sulle acque, e con le future politiche per aumentare l'efficienza nell'uso dei nutrienti, della biomassa e dell'energia.

2.2 Il contesto italiano

Il fosforo è, anche per l'Italia, un elemento per molti processi insostituibile, basti pensare al suo utilizzo in mangimi e fertilizzanti. È quindi una risorsa indispensabile, ma allo stesso tempo finita e limitata.

Tra le criticità legate all'utilizzo del fosforo in Italia particolare rilevanza può essere attribuita a:

- Assenza di fonti di approvvigionamento primarie in Italia e difficoltà per un suo futuro reperimento (diminuzione delle riserve) con il conseguente trend dei costi in aumento;

- Dispersione poco attenta nell'ambiente responsabile anche di fenomeni di eutrofizzazione delle acque e inquinamento del suolo (tra le principali cause, una posizione di rilievo è occupata da un inappropriato utilizzo di fertilizzanti fosfatici in agricoltura);
- Tasso di riciclo del fosforo a fine vita prossimo allo zero, condizionato anche da normativa poco adeguata alle esigenze.

È indispensabile quindi incoraggiare la predisposizione di politiche e quindi di normative che facilitino la corretta gestione del fosforo sia da fonti primarie che da fonti di recupero: solo attraverso l'introduzione di specifici strumenti e modelli di gestione circolare relativi alle varie filiere si potrà puntare ad un sistema virtuoso per l'uso sostenibile del fosforo.

2.2.1 Gli attori coinvolti

In Italia la gestione delle politiche per la materia prima critica "fosforo" coinvolge diversi ruoli istituzionali. Il Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica (MASE) è l'organo di Governo preposto all'attuazione della politica ambientale. Per lo svolgimento delle diverse attività il MASE si avvale del supporto delle Amministrazioni competenti a livello locale (Regioni, Province e Comuni).

Il Ministero dello Sviluppo Economico (oggi Ministero delle Imprese e del Made in Italy – MIMIT)¹⁷ ha avviato a gennaio 2021 un "Tavolo Tecnico sulle Materie Prime Critiche" che, attraverso il coinvolgimento di tutti i soggetti portatori di interesse¹⁸, si pone l'obiettivo di rafforzare il coordinamento inter-istituzionale sul tema, anche a livello europeo, e di contribuire alla creazione delle condizioni normative, economiche e di mercato volte ad assicurare un approvvigionamento sicuro e sostenibile delle materie prime critiche.

A gennaio 2022 sono stati costituiti all'interno del Tavolo tecnico quattro Gruppi di Lavoro tematici supervisionati dal Ministero dello Sviluppo Economico (oggi Ministero delle Imprese e del Made in Italy) e dal Ministero della Transizione Ecologica (oggi Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza energetica):

Gruppo di Lavoro 1 "Analisi Fabbisogni" – Coordinato da Confindustria con l'obiettivo di stimare i bisogni futuri di materie prime critiche, sia diretti che indiretti, analizzando anche il divario tra domanda e offerta. In particolare, al fine di un'adeguata pianificazione delle attività e dei provvedimenti da adottare, il GdL1 valuta i fabbisogni italiani ed europei in fatto di materie prime critiche e la loro evoluzione nel tempo.

Gruppo di Lavoro 2 "Mining" Coordinato da ISPRA (Dipartimento per il Servizio Geologico D'Italia). Nell'ottica della sostenibilità e dell'economia circolare, il GdL2 ha l'obiettivo di identificare le potenzialità per le attività estrattive primarie e secondarie (recupero da rifiuti estrattivi) verificando le possibilità di un'estrazione sostenibile nel territorio italiano, compreso il recupero di materie prime da

¹⁷ Si evidenzia che il Ministero delle Imprese e del Made in Italy ha aderito all' European Raw Materials Alliance (ERMA) e presidia i tavoli e gli incontri, italiani ed europei, sul tema delle materie prime critiche. Nell'ambito di Ecomondo 2021 il MISE (oggi MIMIT) ha organizzato, insieme ad ENEA e al Tavolo Nazionale Materie Prime Critiche, l'evento "*Le materie prime critiche e il nuovo piano di azione Europeo: strategie per un approvvigionamento più sicuro e sostenibile*". Inoltre, il 10 novembre 2022 nell'ambito di Ecomondo 2022, presso la fiera di Rimini, si è tenuto il convegno "*Materie prime critiche: tavolo nazionale, strategia, sviluppi e prospettive*".

¹⁸ Il Tavolo nazionale sulle materie prime critiche include istituzioni, centri di ricerca, consorzi di filiera e associazioni di categoria.

siti precedentemente abbandonati e da rifiuti minerari. Il GdL2 comprende tra i partecipanti un'ampia parte della comunità nazionale scientifica e tecnica in materia di attività estrattive.

Gruppo di Lavoro 3 "Ecodesign ed Ecoprogettazione". Coordinato da ENEA, il GdL3 si pone l'obiettivo di analizzare le potenzialità dell'ecodesign per ridurre la domanda di materie prime critiche.

Gruppo di Lavoro 4 "Urban mining". Coordinato da ENEA, il GdL4 ha come obiettivo principale la stima del potenziale delle attività di Urban Mining, con un focus sui RAEE, l'elaborazione di proposte normative di semplificazione, anche a seguito dell'analisi delle best practice a livello europeo e mondiale.

Il Tavolo Tecnico Materie Prime Critiche è stato formalmente istituito con Decreto Interministeriale del 15 settembre 2022 del Ministero dello Sviluppo Economico (oggi Ministero delle Imprese e del Made in Italy) e del Ministero della Transizione Ecologica (oggi Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica) che lo coordinano.

Al Tavolo partecipano i rappresentanti delle organizzazioni di cui all'art.3 comma 2 del decreto elencati nella "lista designati" pubblicata sul sito web del MIMIT e del MASE. L'articolo 4 del Decreto Interministeriale prevede in capo al Tavolo i seguenti compiti:

"a) formula proposte per una strategia nazionale di approvvigionamento delle materie prime critiche, sia per lo sfruttamento delle risorse del paese, seguendo i principi di urban mining, eco-design e attività mineraria sostenibile e realizzando le possibilità offerte dalle Best Available Technology (BAT);

b) elabora proposte per eventuali iniziative normative dei competenti ministeri che supportino iniziative e investimenti per la sostenibilità e resilienza degli approvvigionamenti delle materie prime critiche strategiche, anche considerando le best practices a livello europeo e mondiale;

c) raccoglie informazioni, qualitative e quantitative, per singola materia prima critica e per i relativi prodotti in termini di domanda e offerta potenziale con orizzonte 2050;

d) svolge attività di analisi anche a livello internazionale;

e) formula proposte per le possibili attività di informazione dell'opinione pubblica, di concerto con il Ministero della Transizione Ecologica e le istituzioni competenti;

f) fornisce elementi e valutazioni per la definizione, ad opera dei competenti organi, di una lista di materie prime critiche per l'Italia, considerando le emergenti esigenze delle imprese nazionali;

g) fornisce elementi per informare, almeno semestralmente, il Comitato Interministeriale per la Transizione Ecologica (CITE) circa lo sviluppo delle attività di cui alle lett. A) e b) e delle altre attività ritenute di rilevanza, e avanza eventuali proposte al fine di prevenire l'indisponibilità di materie prime critiche per settori, filiere, prodotti funzionali e utili al processo di transizione ecologica ed energetica".

Ai compiti su indicati si aggiunge quello di fornire elementi utili nell'ambito del "Critical Raw Materials Act"¹⁹. Il Tavolo ha contribuito ai negoziati del CRM Act a livello europeo, registrando risultati positivi, come il compromesso raggiunto sotto i profili dei benchmark di trasformazione e riciclo.

¹⁹ Il Critical Raw Materials Act è la proposta di legislazione Ue sulle materie prime critiche presentata il 16 marzo 2023 dalla Commissione europea. Si tratta di una strategia complessiva che prevede una serie di azioni per gli Stati membri sul piano interno e delle relazioni internazionali per assicurare un approvvigionamento "sicuro, diversificato e sostenibile" delle materie prime necessarie per la transizione digitale e verde.

Di recente è stato istituito, inoltre, a guida MAECI un quinto gruppo di lavoro per il coordinamento delle attività internazionali e partenariati (G7, G20, IEA, Mineral Security Partnership, UNEP, OCSE, Trilaterale FR-DE-IT, etc.).

Il Tavolo MPC mette a sistema tutte le conoscenze nazionali sulle linee prioritarie sviluppati dai 5 gruppi di lavoro anche ai fini della definizione di una Strategia Nazionale sulle materie prime critiche volta a garantire i fabbisogni di MPC dell'industria italiana e a contribuire al perseguimento degli obiettivi di estrazione, lavorazione, riciclo, e diversificazione in fase di definizione a livello europeo.

Su alcune materie prime critiche sono state già previste a livello nazionale delle azioni specifiche. Ne è un esempio la Piattaforma Nazionale del Fosforo, promossa nel 2019 dal Ministero dell'ambiente e della tutela del territorio e del mare (oggi Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica) con la finalità, tra le altre, del raggiungimento dell'autosufficienza del ciclo del fosforo su base nazionale e coordinamento con le politiche europee.

Con riferimento al tema più generale dell'approvvigionamento di materie prime critiche, inoltre, con l'art. 30 del decreto-legge n.21/2022 (convertito con modificazioni dalla L. 20 maggio 2022, n. 51) è stata demandata ad apposito Decreto del Presidente del Consiglio dei ministri (DPCM) l'individuazione delle materie prime critiche per le quali le operazioni di esportazione al di fuori dell'Unione europea sono soggette ad una procedura di notifica (informativa completa dell'operazione) al Ministero dello sviluppo economico (oggi Ministero delle Imprese e del Made in Italy) e al Ministero degli affari esteri e della cooperazione internazionale (MAECI). La norma prevede che l'individuazione delle MPC avvenga su proposta del Ministero dello sviluppo economico e del Ministero degli affari esteri e della cooperazione internazionale sulla base della rilevanza per l'interesse nazionale e del pregiudizio che deriverebbe dall'operazione di esportazione, anche in relazione alla necessità di approvvigionamento di filiere produttive strategiche.

Sul fronte internazionale invece continua il format trilaterale di politica industriale sulle materie prime critiche tra Italia, Francia e Germania, insediato nel 2023 a Berlino, e la discussione sul tema all'interno del G7. Nel corso dell'ultimo G7 (Sapporo, Giappone – 2023), in particolare, i ministri dell'ambiente e del clima, hanno presentato un "Piano in cinque punti per la sicurezza dei minerali critici"²⁰.

2.2.2 La legislazione italiana sul fosforo

Attualmente in Italia non è presente una specifica normativa che disciplini la corretta gestione del fosforo, ma questo elemento (o quanto meno le potenziali fonti – intese come diverse matrici nelle quali è presente in diverse percentuali) è contemplato in diverse normative, leggi e norme che disciplinano altri settori ad esso strettamente correlati come, ad esempio, la gestione dell'azoto, il trattamento delle acque, gli scarti alimentari, l'erosione del suolo, la sicurezza alimentare.

Si riportano di seguito alcuni riferimenti alle normative di settore a supporto della gestione del fosforo in particolare legate al suo utilizzo.

2.2.2.1 Fosforo nella politica relativa ai fertilizzanti ed agli effluenti zootecnici

Il Decreto legislativo 29 aprile 2010 n.75 e s.m.i. riordina e revisiona la disciplina in materia di fertilizzanti. Ai sensi dell'articolo 1, esso si applica ai:

“a) prodotti immessi sul mercato come concimi CE, definiti dal regolamento (CE) n. 2003/2003;

²⁰ <https://www.meti.go.jp/information/g7hirosima/energy/pdf/Annex005.pdf>

b) a concimi nazionali, ammendanti, correttivi e prodotti correlati immessi sul mercato definiti, descritti e classificati negli allegati 1, 2, 3, 4, 5, 6 e 13”.

Il regolamento (CE) n. 2003/2003 richiamato dal Dlgs 75/2010 è stato abrogato dal Regolamento 2019/1009(UE) ²¹, in applicazione dal 16 luglio 2022, che ha stabilito norme relative alla messa a disposizione sul mercato di prodotti fertilizzanti dell’UE.

Il nuovo regolamento europeo nel sostituire la disciplina pregressa ne allarga il campo di applicazione aprendo alla circolazione nel mercato dell’Unione e alla marcatura CE a diversi prodotti come i concimi organici, organo-minerali e biostimolanti. Il regolamento stabilisce anche criteri in conformità dei quali un materiale che costituisce un rifiuto ai sensi della direttiva 2008/98/CE può cessare di essere tale (End of Waste) se contenuto in un prodotto fertilizzante conforme.

Il Regolamento individua in particolare 15 famiglie di CMC (Categorie materiali costituenti) che andranno a costituire le 7 categorie funzionali di prodotto (PFC).

Il nuovo regolamento UE sui fertilizzanti contiene previsioni normative che necessitano di norme di trasposizione e di adeguamento del diritto interno. Il legislatore nazionale, con la Legge 4 agosto 2022, n. 127 (Legge di delegazione europea 2021), entrata in vigore il 10 settembre scorso, ha pertanto conferito delega al Governo per l'adeguamento della normativa nazionale alle disposizioni di cui al Regolamento (UE) 2019/1009. Nello specifico, il Governo è delegato ad adottare, entro dodici mesi dalla data di entrata in vigore della legge 127/2022, previa intesa in sede di Conferenza permanente per i rapporti tra lo Stato, le regioni e le province autonome di Trento e di Bolzano, uno o più decreti legislativi per adeguare la normativa nazionale alle disposizioni del regolamento (UE) 2019/1009. Tra i principi e criteri direttivi che il Governo deve osservare nell’esercizio della delega, ai sensi dell’art. 19 della legge 127/2022, si evidenziano i seguenti:

- indicare il Ministero delle politiche agricole alimentari e forestali quale autorità competente nazionale e autorità di notifica, nonché l'Ente unico nazionale di accreditamento (Accredia) quale organismo di valutazione e controllo della conformità per l'applicazione del regolamento (UE) 2019/1009;
- adeguare e semplificare le norme vigenti in materia di prodotti fertilizzanti nazionali sulla base delle conoscenze tecnico-scientifiche;
- apportare ogni opportuna modifica alle norme dell'ordinamento interno, al fine di dare piena attuazione alle previsioni del regolamento (UE) 2019/1009, con particolare riguardo alle disposizioni non direttamente applicabili, e abrogare espressamente le norme interne che risultino incompatibili con quelle del medesimo regolamento, provvedendo qualora necessario all'introduzione di una normativa organica in materia di fertilizzanti.

Per approfondimenti sul Regolamento (UE) 2019/1009 e sulla normativa italiana sui fertilizzanti si rinvia al Rapporto del WP3 (Normativa) della Piattaforma Italiana del Fosforo.

Si evidenzia infine il Piano Strategico Nazionale della PAC 2023-2027, approvato dalla Commissione Europea, che presenta novità in termini di divieto di utilizzo dei fanghi sui suoli e degli ammendanti compostati misti che includono la componente fanghi nella matrice della composizione. Il Piano include anche nuovi Criteri di gestione obbligatori (CGO). Tra questi ultimi, il CGO1 recepisce le

²¹ Regolamento (UE) 2019/1009 del Parlamento europeo e del Consiglio, del 5 giugno 2019, che stabilisce norme relative alla messa a disposizione sul mercato di prodotti fertilizzanti dell’UE, che modifica i regolamenti (CE) n. 1069/2009 e (CE) n. 1107/2009 e che abroga il regolamento (CE) n. 2003/2003

indicazioni della Direttiva 2000/60/CE in materia di tutela delle acque per il controllo delle fonti diffuse di inquinamento da fosfati e introduce, per la prima volta in condizionalità, l'obbligo a carico dei beneficiari di registrare i dati sull'utilizzo dei concimi fosfatici, minerali/inorganici, organo-minerali ed organici con titolo di P dichiarato di cui al D.lgs. n. 75/2010 e Reg. 2019/1009.

2.2.2.2 Fosforo nella politica delle acque reflue e fanghi di depurazione

Il D.lgs. 99/92 e s.m.i. disciplina l'utilizzo di fanghi in agricoltura. Il decreto ha dato attuazione in Italia alla Direttiva 86/278/CEE (Direttiva fanghi) concernente la protezione dell'ambiente, in particolare del suolo, nell'utilizzazione dei fanghi di depurazione in agricoltura.

Il D.lgs. n.99/1992 stabilisce le seguenti condizioni per l'utilizzo dei fanghi in agricoltura:

- Sottoposizione a idoneo trattamento;
- Idoneità a produrre un effetto concimante e/o ammendante e correttivo del terreno;
- Assenza di sostanze tossiche e nocive e/o persistenti, e/o bioaccumulabili in concentrazioni dannose per le matrici ambientali e per la salute umana.
- Rispetto dei valori limite di cui agli Allegati I A e I B del D.lgs. n.99/1992 relativi rispettivamente alla concentrazione di uno o più metalli pesanti nei suoli agricoli e alla concentrazione di metalli pesanti nei fanghi.

All'Allegato IB del suddetto decreto sono riportate le caratteristiche agronomiche e microbiologiche nei fanghi destinati all'utilizzazione in agricoltura. Il valore di fosforo totale indicato è $\geq 0,4\%$ di sostanza secca. Tale valore è da intendersi quale limite inferiore di concentrazione.

Nelle more di una revisione organica della normativa di settore, l'art. 41 del D.L. 28 settembre 2018 n. 109, convertito in Legge 130 del 16/11/2018, ha introdotto ulteriori parametri e limiti per l'utilizzo dei fanghi in agricoltura.

Dopo un primo testo di modifica del D.lgs. 99/92 proposto e approvato nell'agosto 2018 dalla Conferenza Stato-Regioni, il Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare (MATTM), attualmente Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica - MASE), sulla base di quanto previsto dall'art. 15 della Legge 117/2019 (Legge di delegazione europea 2018), ha lavorato ad una proposta di revisione integrale del decreto fanghi attraverso la costituzione di un gruppo di lavoro formato da esperti del settore e la consultazione delle altre parti interessate. Il citato articolo 15 della L.117/2019 delegava il Governo a:

"b) adottare una nuova disciplina organica in materia di utilizzazione dei fanghi, anche modificando la disciplina stabilita dal decreto legislativo 27 gennaio 1992, n. 99, al fine di garantire il perseguimento degli obiettivi di conferimento in discarica previsti dalle disposizioni di cui all'articolo 1, numero 4), della direttiva (UE) 2018/850, nel rispetto delle seguenti indicazioni:

1. *adeguare la normativa alle nuove conoscenze tecnico-scientifiche in materia di sostanze inquinanti;*
2. *considerare adeguatamente le pratiche gestionali e operative del settore;*
3. *disciplinare la possibilità di realizzare forme innovative di gestione finalizzate specialmente al recupero delle sostanze nutrienti e in particolare del fosforo;*
4. *garantire la gestione e l'utilizzo dei fanghi in condizioni di sicurezza per l'uomo e per l'ambiente;*
5. *prevedere la redazione di specifici piani regionali di gestione dei fanghi di depurazione delle acque reflue, all'interno dei piani regionali di gestione dei rifiuti speciali, mirati alla chiusura del ciclo dei fanghi nel rispetto dei principi di prossimità e di autosufficienza".*

Alla prima bozza del nuovo decreto fanghi datata giugno 2019 (D.lgs. XXX "Disciplina della gestione dei fanghi di depurazione delle acque reflue e attuazione della direttiva 86/278/CEE concernente la

protezione dell'ambiente, in particolare del suolo, nell'utilizzazione dei fanghi di depurazione in agricoltura") è seguita una seconda versione, datata 24 dicembre 2019, che ha sostanzialmente rivisto la prima, e poi una terza versione resa nota il 5 febbraio 2020 insieme ad una Relazione illustrativa²². Allo stato attuale, i lavori di revisione del D.lgs. n.99/92 risultano interrotti. Si prende atto, tuttavia, che la bozza di decreto fanghi del 5 febbraio 2020, pur essendo priva di valore normativo, amplia notevolmente la gamma delle opzioni di gestione dei fanghi, includendo l'utilizzo del fosforo da recupero (Titolo II), l'utilizzo per la preparazione di fertilizzanti (Titolo III), l'utilizzo agronomico dei fanghi (Titolo IV), l'utilizzo per ripristini ambientali (Titolo V) e altre forme di gestione (Titolo VI).

2.2.3 Altre misure

Una corretta gestione del fosforo passa dalla predisposizione di una serie di azioni e politiche integrate che portino ad uno sviluppo sostenibile. A tal fine, tra gli strumenti disponibili che possono essere utilizzati sono comprese le politiche di bilancio e le riforme strutturali. Una discreta rilevanza, anche in relazione alle diverse matrici che possono contenere il fosforo, è rivestita anche dalle normative regionali di settore che diversificano approcci, criteri e riferimenti tabellari nel nostro Paese.

Alcune delle principali attività e strategie correlate all'uso efficiente delle risorse adottate dall'Italia sono le seguenti.

2.2.3.1 Piani per uno Sviluppo Sostenibile

L'Italia partecipa attivamente alla predisposizione di piani e strategie per permettere uno sviluppo sostenibile. Nel 2015 ha sottoscritto l'Agenda 2030, il programma delle Nazioni Unite per lo Sviluppo Sostenibile in cui sono indicati 17 Obiettivi (SDGs: Sustainable Development Goals) e 169 target che toccano molti ambiti tematici interconnessi tra loro al fine di considerare lo sviluppo sostenibile come orientamento principale in sede di definizione delle politiche nazionali economiche, sociali ed ambientali. L'agenda 2030 definisce una nuova visione verso un'economia circolare e a basse emissioni, resiliente agli impatti climatici e ad altri cambiamenti globali che mettono in pericolo le comunità locali ed avente come priorità il limitare la perdita di biodiversità e l'alterazione dei cicli biogeochimici fondamentali (carbonio, azoto, fosforo) e il cambiamento dell'uso del suolo. I principi e gli obiettivi dell'Agenda 2030 sono stati declinati a livello nazionale mediante la "Strategia nazionale di sviluppo sostenibile (SNSvS) 2017/2030" (Alleanza Italiana per lo Sviluppo Sostenibile, 2019) che rappresenta il quadro strategico di riferimento delle politiche settoriali e territoriali in Italia, rivestendo un ruolo importante per istituzioni e società civile nel percorso di attuazione e fino al 2030. La SNSvS è stata approvata dal CIPE il 22 dicembre 2017, previa consultazione con le amministrazioni centrali, locali, la società civile, il mondo della ricerca. Il Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare (oggi Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica) – coordinato dalla DG SVI – ha collaborato con altri organi di governo quali la Presidenza del Consiglio dei Ministri, il Ministero degli Affari Esteri e della Cooperazione Internazionale e il Ministero dell'Economia.

2.2.3.2 Programma Nazionale per la Gestione dei Rifiuti (PNGR)

Il Programma Nazionale per la Gestione dei Rifiuti (PNGR) costituisce una novità prevista e definita dall'articolo 198-bis del D.lgs. 152/2006. Il PNGR è uno strumento di indirizzo che fissa i macro-

²²https://www.minambiente.it/sites/default/files/archivio/allegati/rifiuti/direttive_rifiuti/contributi/discariche_fanghi/02bozza_fanghi.pdf
https://www.mite.gov.it/sites/default/files/archivio/allegati/rifiuti/direttive_rifiuti/contributi/discariche_fanghi/01relazione_fanghi.pdf

obiettivi, le macro-azioni, i target, definisce i criteri e le linee strategiche a cui le Regioni e le Province autonome devono attenersi nella elaborazione dei Piani di gestione dei rifiuti. Offre inoltre una ricognizione nazionale dell'impiantistica e fornisce gli indirizzi per colmare il gap impiantistico fra le regioni. L'obiettivo del Programma è aumentare il tasso di raccolta differenziata e di riciclo al fine di sviluppare nuove catene di approvvigionamento di materie prime seconde dal ciclo dei rifiuti. Il PNRR, approvato con D.M. n. 257 del 24 giugno 2022, con un orizzonte temporale di sei anni (2022-2028)²³, rientra tra le riforme principali della missione sull'economia circolare (M2C1) del PNRR, ed è strettamente correlato agli investimenti per la realizzazione di nuovi impianti di gestione rifiuti ed ammodernamento di impianti esistenti a cui sono destinati 1,5 miliardi, nonché ai progetti "faro" di economia circolare per filiere industriali strategiche, per i quali è previsto un finanziamento pari a 600 milioni di euro. Nel rispetto del riparto di competenze fra Stato e Regioni, il PNRR non reca interventi o progetti puntuali: ciò in quanto, ai sensi degli articoli 196 e 199 del D.L.vo 152/2006, compete, infatti, ai Piani regionali di gestione dei rifiuti la previsione degli interventi strutturali da realizzare e la individuazione dei criteri per la loro ubicazione. Il PNRR presta particolare attenzione al tema delle materie prime critiche. In particolare il PNRR:

- promuove il riciclo dei RAEE e lo sviluppo di una rete impiantistica, possibilmente a tecnologia complessa, per il trattamento ad alta efficienza di questi rifiuti per il recupero delle materie prime critiche in essi contenute;
- include tra i contenuti del Piano Regionale di Gestione Rifiuti, la ricognizione degli impianti di trattamento, smaltimento e recupero dei rifiuti esistenti, inclusi eventuali sistemi speciali per gli oli usati, rifiuti pericolosi, rifiuti contenenti quantità importanti di materie prime critiche o flussi di rifiuti disciplinati da una normativa unionale specifica;
- indica tra i flussi strategici di rifiuti sui quali deve concentrarsi la programmazione nazionale e, conseguentemente la programmazione regionale, quello dei "Fanghi da depurazione delle acque reflue urbane" indicando le azioni regionali da intraprendere, per colmare il gap per questo flusso strategico di rifiuti ovvero:
 - garantire una tracciabilità puntuale ed informatizzata sull'utilizzo al suolo dei fanghi, nonché dei gessi di defecazione e la trasmissione periodica delle informazioni;
 - sviluppare processi di recupero di materia ed energia dai fanghi, anche attraverso tecnologie innovative;
 - sviluppare le tecnologie di recupero del fosforo contenuto nei fanghi.

2.2.3.3 Strategia Nazionale per l'Economia Circolare (SNEC)

La Strategia nazionale per l'economia circolare (SNEC), approvata con DM n. 259 del 24 giugno 2022, in attuazione degli obiettivi del PNRR, è un documento programmatico all'interno del quale sono state individuate le azioni, gli obiettivi e le misure che si intendono perseguire nella definizione delle politiche istituzionali volte ad assicurare un'effettiva transizione verso un'economia di tipo circolare. Uno specifico focus della Strategia è dedicato al tema delle materie prime critiche, al Tavolo tecnico nazionale sulle materie prime critiche e alla Piattaforma italiana del Fosforo. Nella SNEC si evidenzia, in particolare, l'importanza del riutilizzo delle risorse idriche trattate, specie in ambito agricolo, al fine di ridurre la necessità di concimi di sintesi che vanno ad alterare gli ecosistemi in cui vengono sversati i nutrienti (azoto, fosforo, potassio). Viene affrontato, anche il tema dei fanghi di depurazione delle acque reflue, in considerazione delle relative potenzialità. Nella SEC si afferma che *"La disponibilità e l'operatività di impianti per il trattamento dei fanghi di depurazione non solo civili, ma anche industriali, deve precedere qualunque tassazione disincentivante il conferimento degli stessi in discarica. Su questo*

²³ https://www.mase.gov.it/sites/default/files/archivio/allegati/PNRR/PNRR_Finale.pdf

tema, data la rilevanza in termini sia quantitativi che qualitativi (tipologia e peculiarità) dei fanghi industriali, è quindi necessario procedere, nel rispetto della gerarchia dei rifiuti, con il riciclaggio ed recupero di materia laddove possibile, senza escluderne a priori il trattamento termico". Nell'ambito delle azioni individuate dalla SNEC, che dovranno essere entro il 2035, si segnalano le seguenti in tema di fanghi di depurazione e recupero del fosforo:

- Creare "hub" di gestione dei fanghi anche a servizio di impianti di piccola-media taglia.
- Promuovere impianti di recupero di materia dai fanghi, al fine di ottimizzare il recupero di sostanze/nutrienti - quali il fosforo - e di energia, contribuendo altresì alla risoluzione delle criticità derivanti dalla gestione dei fanghi.
- Adottare di concerto con ARERA misure e meccanismi incentivanti atti a sviluppare ulteriormente e rafforzare: i) il riuso di acque reflue; ii) il contenimento dei fanghi da depurazione tenendo in considerazione le specificità in termini infrastrutturali ed i profili di innovatività tecnologica.

2.2.3.4 La legislazione regionale sul fosforo

A livello regionale non è presente una specifica normativa che disciplini la gestione della materia prima critica fosforo che è tuttavia contemplata in diverse norme e provvedimenti regionali che disciplinano altri settori ad esso strettamente correlati come, ad esempio, l'utilizzo dei fanghi di depurazione in agricoltura. L'art. 6 del D.lgs. 99/1992 prevede infatti che le regioni " *stabiliscono ulteriori limiti e condizioni di utilizzazione in agricoltura per i diversi tipi di fanghi in relazione alle caratteristiche dei suoli, ai tipi di colture praticate, alla composizione dei fanghi, alle modalità di trattamento*". Le Regioni italiane che in base ai dati ISPRA più recenti²⁴ producono il maggior quantitativo di fanghi provenienti dal trattamento delle acque reflue urbane (codice CER 190805) sono Lombardia, Veneto ed Emilia-Romagna. Nel 2022, le Regioni citate hanno avviato un processo di revisione delle rispettive normative sui fanghi di depurazione, anche attraverso l'aggiornamento dei rispettivi programmi regionali di gestione dei rifiuti (PRGR).

La Regione Lombardia, con DGR n.6408 del 23/05/2022²⁵, ha provveduto all'aggiornamento del Programma Regionale di Gestione dei Rifiuti (PRGR) comprensivo del Programma delle Aree Inquinare (PRB). Il programma contiene scenari evolutivi al 2027 sia per i rifiuti urbani che per i rifiuti speciali, definendo specifici obiettivi e strumenti attuativi, che puntano a favorire i processi di riciclo effettivo e a limitare la realizzazione di nuove volumetrie di discariche. Il PRGR è corredato anche dai criteri localizzativi da applicare per i nuovi impianti e per le modifiche degli impianti esistenti ed è inoltre composto da specifici piani, tra cui il Programma di gestione fanghi (Sezione 7) che include un focus sul contenuto di fosforo nei fanghi e sul recupero del fosforo. Allo scopo di prevedere destini diversificati il Programma di gestione fanghi prevede quattro possibilità principali, di cui si indica un *range* ipotetico in base alla qualità dei fanghi, alle disponibilità impiantistiche attuali e a quelle prevedibili nel prossimo futuro:

1. Fanghi di qualità elevata, ben stabilizzati inviati a spandimento;
2. Fanghi potenzialmente idonei, di cui procedere alla stabilizzazione completa mediante trattamenti biologici (digestione anaerobica, co-digestione, co-compostaggio);

²⁴ ISPRA - Rapporto rifiuti speciali 2023

²⁵ <https://www.regione.lombardia.it/wps/portal/istituzionale/HP/DettaglioRedazionale/servizi-e-informazioni/Enti-e-Operatori/ambiente-ed-energia/Rifiuti/aggiornamento-piano-rifiuti-e-bonifiche-regionale/aggiornamento-piano-rifiuti-e-bonifiche-regionale>

3. Fanghi non idonei e fanghi con codici EER non ammessi a uso agronomico, inviati a mono incenerimento o altri trattamenti finalizzati al recupero di materia ed energia;
4. Fanghi non idonei e non ammessi a uso agronomico, inviati a co-incenerimento, prioritariamente a cimiterie per recupero energia e materia e, dove ciò non sia possibile, a inceneritore con CSS o RU.

La Regione Emilia-Romagna ha approvato con Deliberazione assembleare n. 87 del 12/07/2022²⁶, il Piano regionale di gestione dei rifiuti e per la bonifica delle aree inquinate 2022-2027 (PRRB). Con l'approvazione del Piano regionale di gestione dei rifiuti la Regione Emilia-Romagna ha altresì indicato espressamente le Strategie e azioni della pianificazione regionale sul tema fanghi di depurazione che prevedono in sintesi:

- l'utilizzo agronomico diretto e indiretto, in via prioritaria, per i fanghi di depurazione nel rispetto delle condizioni previste dalla normativa di settore (DGR n. 2773/2004, modificata dalla DGR n. 326/2019, e DGR n.1776/2018);
- in alternativa, dovrà essere favorito il conferimento dei fanghi con le caratteristiche idonee al compostaggio e alla digestione anaerobica;
- un utilizzo alternativo può essere il recupero di energia e l'utilizzo in parziale sostituzione dei combustibili fossili non rinnovabili;
- il trattamento biologico e fisico/chimico e infine la discarica devono rappresentare le opzioni ultime da scegliere.

La Regione Veneto con DGR n. 988 del 09.08.2022²⁷ ha approvato l'Aggiornamento del Piano regionale di gestione dei rifiuti urbani e speciali (PRGR). Il documento di "Aggiornamento del Piano Regionale di gestione dei rifiuti urbani e speciali" (Allegato A) presenta uno specifico Focus di approfondimento sulla valorizzazione dei fanghi da depurazione (Focus di approfondimento n.3). In esso si legge che il PRGR del Veneto si propone di adottare alcune misure operative per incrementare la valorizzazione dei fanghi da depurazione tra le quali:

1. adottare un atto regionale in linea con quanto già approvato dalla Regione Lombardia al fine di individuare una classe di fanghi di "alta qualità" per i quali sia previsto un regime agevolato;
2. favorire la collaborazione tra i gestori pubblici del Servizio Idrico Integrato e del Servizio di Gestione Rifiuti;
3. sostegno alla attività innovative e sperimentali per il recupero delle materie prime ritenute critiche (CRM – Critical Raw Materials).

Al fine di favorire l'uso in agricoltura dei fanghi garantendo al contempo il più elevato livello di tutela ambientale la Regione Veneto prevede la definizione di specifici livelli qualitativi, così come definiti dalla Regione Lombardia, corrispondenti alle seguenti 3 categorie:

- fanghi non idonei: corrispondenti ai fanghi che non rispettano i parametri stabiliti nel D.lgs. n.99/92;
- fanghi idonei: corrispondenti ai fanghi che rispettano i requisiti stabiliti nel D.lgs. n.99/92;
- fanghi di alta qualità: fanghi che rispettano oltre i parametri previsti dal D.lgs. 99/92 altri parametri o che devono garantire livelli di concentrazione degli inquinanti inferiori.

I fanghi di qualità alta possano essere utilizzabili in agricoltura con un regime agevolato. I fanghi di qualità "idonea" potranno invece essere utilizzati solo a valle di un processo di stabilizzazione

²⁶ <https://ambiente.regione.emilia-romagna.it/it/rifiuti/temi/rifiuti/piano-rifiuti/nuovo-piano-rifiuti-2022-2027>

²⁷ <https://bur.regione.veneto.it/BurvServices/pubblica/DettaglioDgr.aspx?id=483320>

anaerobico ed aerobico (digestione anaerobica e compostaggio) al fine di ottenere un compost conforme alle specifiche previste dalla pertinente normativa sui fertilizzanti. Per i fanghi non idonei andrà invece individuato uno scenario di destino a recupero energetico o, qualora non vi sia disponibilità di tale opzione, a smaltimento finale.

2.2.3.5 Strumenti Finanziari

Le Leggi di Bilancio per il 2018 e 2019 intervengono rispetto agli obiettivi dell'Agenda 2030 con un particolare focus sulla corretta gestione e recupero del fosforo. Precisamente fanno riferimento alla necessità di preservare il ciclo biogeochimico del fosforo e prevenire il fenomeno dell'eutrofizzazione nonché evidenziano, al fine di limitarne l'importazione, la necessità di favorirne il recupero dal settore zootecnico, da quello della depurazione civile e da altre fonti di sostanza organica. A tal scopo è stato istituito un fondo per la realizzazione della piattaforma italiana del fosforo di cui all'articolo 1, comma 122, con la Legge 27 dicembre 2017, n. 205 (Legge di Bilancio per il 2018) e la Legge 30 dicembre 2018, n. 145 (Legge di Bilancio per il 2019). Il Decreto Legge del 30 dicembre 2021 n.228 ("Disposizioni urgenti in materia di termini legislativi"), convertito con modificazioni dalla Legge 25 febbraio 2022, n.15, ha disposto all'art.11 ("Proroga di termini in materia di transizione ecologica"), comma 4-bis, il rifinanziamento del fondo per la realizzazione della piattaforma italiana del fosforo per ciascuno degli anni dal 2022 al 2024.

Il recente Disegno di legge concernente "Disposizioni organiche per la valorizzazione, promozione e tutela del made in Italy" (del 21 luglio 2023)²⁸, all'articolo 4 prevede l'istituzione, nello stato di previsione del Ministero dell'economia e delle finanze, del Fondo Nazionale del Made in Italy, con una dotazione iniziale di 700 milioni di euro per l'anno 2023 e di 300 milioni di euro per l'anno 2024, con finalità di sostegno alla crescita, al rafforzamento e al rilancio delle filiere strategiche nazionali, in coerenza con gli obiettivi di politica industriale ed economica nazionale, anche in riferimento alle attività di approvvigionamento, riciclo e riuso di materie prime critiche per l'accelerazione dei processi di transizione energetica e a quelle finalizzate allo sviluppo di modelli di economia circolare. Il Fondo è incrementato con risorse provenienti da soggetti diversi dalle pubbliche amministrazioni ed è autorizzato a investire, a condizioni di mercato e nel rispetto della disciplina sugli aiuti di Stato, nel capitale di società con sede legale in Italia, non operanti nel settore bancario, finanziario o assicurativo.

2.2.3.6 La piattaforma italiana del fosforo

L'Italia, anche grazie alla piattaforma nazionale del fosforo, svilupperà strategie per la una gestione di questa materia prima strategica in un'ottica di economia circolare, fino all'elaborazione di un piano di sostenibilità a lungo termine.

La Piattaforma Nazionale del Fosforo è stata promossa dal Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare (oggi Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica - MASE) con ENEA nel ruolo di gestore.

L'Italia, con la Legge 27 dicembre 2017, n. 205 all'articolo 1, comma 122 ha previsto l'istituzione, nello stato di previsione del Ministero dell'Ambiente, di un fondo destinato alla realizzazione della Piattaforma Italiana del fosforo, integrato con la Legge di Bilancio 2019. Con il decreto direttoriale RIN-DEC-2018-0000155 del 13/11/2018 all'articolo 2, comma 2, l'Agenzia Nazionale per l'Energia, le Nuove

²⁸ Disegno di legge assegnato alla X Commissione (Attività produttive) in sede Referente. Esame in Commissione iniziato il 12 settembre 2023.

<https://documenti.camera.it/leg19/dossier/Pdf/AP0078.pdf>

tecnologie e lo Sviluppo economico sostenibile dei sistemi produttivi e territoriali (ENEA) è stato identificato quale Gestore della Piattaforma.

L'articolo 11, comma 4-bis, del Decreto Legge del 30 dicembre 2021 n.228 (convertito con modificazioni dalla Legge 25 febbraio 2022, n.15) ha disposto il rifinanziamento del fondo per la realizzazione della piattaforma italiana del fosforo per ciascuno degli anni dal 2022 al 2024. Un nuovo accordo di collaborazione per il biennio 2023-2024 è stato siglato tra il Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica e l'ENEA per la ripresa delle attività della Piattaforma Nazionale del Fosforo.

La Piattaforma, gestita da ENEA in collaborazione con la Direzione Generale Economia Circolare del MASE, è costituita da stakeholder attivi sul ciclo del fosforo, con la partecipazione di più di 60 organizzazioni aderenti, tra cui organizzazioni di ricerca, istituzioni pubbliche e private, aziende e terzo settore. La partecipazione alla Piattaforma è aperta a tutti i soggetti portatori di interesse della catena di valore del fosforo.

La Piattaforma Italiana per il fosforo ha il compito di individuare tecnologie, buone pratiche esistenti e strategie per la chiusura del ciclo, fino all'elaborazione di un piano di sostenibilità a lungo termine.

La Piattaforma è articolata in 4 gruppi di lavoro (WP) che affrontano la tematica da diversi punti di vista: WP1 – Gestione e coordinamento; WP2 – Tecnologie e Buone Pratiche; WP3 – Normativa; WP4 – Mercato.

La Piattaforma Italiana del Fosforo è membro della European Sustainable Phosphorus Platform (ESPP)²⁹ e lavora anche in connessione con la Piattaforma Italiana degli Stakeholder dell'Economia Circolare (ICESP).

Nel biennio 2023-2024 è previsto un aggiornamento sugli aspetti normativi, tecnologici e di mercato relativi al fosforo analizzati nel corso del 2019.

La Figura 11 presenta la homepage della Piattaforma Italiana del Fosforo raggiungibile al link <https://www.piattaformaitalianafosforo.it>. Sul sito sono presenti sezioni relative alle principali attività, alle news e gli eventi (Figura 12), alle modalità di adesione, alle Tecnologie e buone pratiche di gestione circolare del fosforo nonché ai prodotti (report).

Figura 11. La piattaforma italiana del fosforo - homepage.

²⁹ <https://phosphorusplatform.eu/espp-members>



Figura 12. La piattaforma italiana del fosforo, sezione News ed Eventi



3 L'offerta di fosforo

3.1 Offerta primaria di fosforo

Si stima che circa il 95% del fosforo della crosta terrestre è presente sotto forma di fosfato (PO_4^{3-}) nelle rocce fosfatiche (chiamate anche fosforiti) e nelle rocce ricche di apatite (Krauss et al., 1984). Le fosforiti possono essere di due tipologie: sedimentarie e ignee, ciascuna con diverse proprietà mineralogiche, strutturali e chimiche che possono offrire vantaggi e svantaggi in termini di sfruttabilità (Van Enk et al., 2011).

Le rocce sedimentarie contano per circa il 90% della produzione mondiale di roccia fosfatica (Cordell, White, 2011), con grandi produttori come Cina, Marocco, Stati Uniti e Medio Oriente (USGS, 2023). Le rocce ignee invece contribuiscono per circa il 10% della produzione attuale di rocce fosfatiche (Cordell, White, 2011), ma rappresentano una percentuale più bassa delle risorse stimate. I principali depositi ignei si trovano in paesi quali Russia, Brasile, Canada, Finlandia e Sudafrica (USGS, 2023).

Il fosforo è inoltre presente come fosfato anche nel guano, il quale è un tipico deposito rinvenuto nelle grotte, derivato dalle escrezioni dei pipistrelli ed alcuni uccelli marini (Audra et al., 2019). Questi depositi organici si decompongono e formano una serie di fluidi e gas acidi che possono interagire con i minerali, i sedimenti e le rocce presenti nella grotta.

Per maggiori approfondimenti sulle caratteristiche delle fosforiti e sulle fasi di estrazione primaria si rimanda al report del 2019.

3.1.1 Risorse e riserve di rocce fosfatiche

Si stima che le risorse mondiali di fosforite ammontino a circa 300 bilioni di tonnellate (3×10^{14} ton P) (USGS, 2023). Tuttavia, gran parte delle risorse non sono attualmente fruibili; perciò, le risorse sfruttabili sono molto inferiori e concentrate in alcuni paesi, principalmente in Marocco e Sahara dell'Ovest, sebbene ci siano buone riserve anche in Cina, e altri paesi del Nord Africa (USGS, 2023). La stima delle risorse a livello globale è complicata in quanto non esiste un criterio condiviso per la valutazione.

Pertanto, i dati su risorse e riserve sono in continua evoluzione e richiedono un aggiornamento costante. In Tabella 4 si riporta l'elenco delle principali riserve conosciute, ovvero dei giacimenti dai quali l'estrazione di fosforo è fisicamente, economicamente, energeticamente e geopoliticamente fattibile.

Tabella 4. Riserve di rocce fosfatiche note nel 2023

Paese	Riserve di roccia fosfatica conosciute (stima in milioni di ton di materiale)	%
Marocco	50000	69,28%
Egitto	2800	3,88%
Tunisia	2500	3,46%
Algeria	2200	3,05%
Cina	1900	2,63%
Brasile	1600	2,22%
Sud Africa	1600	2,22%
Arabia Saudita	1400	1,94%
Australia	1100	1,52%

Paese	Riserve di roccia fosfatica conosciute (stima in milioni di ton di materiale)	%
Stati Uniti	1000	1,39%
Finlandia	1000	1,39%
Giordania	1000	1,39%
Russia	600	0,83%
Kazakistan	260	0,36%
Perù	210	0,29%
Uzbekistan	100	0,14%
Israele	60	0,08%
Turchia	50	0,07%
Senegal	50	0,07%
India	46	0,06%
Messico	30	0,04%
Togo	30	0,04%
Vietnam	30	0,04%
Altri paesi	2600	3,60%
Totale Mondo	72166	100,0%

Fonte: U.S. Geological Survey (2023)

Dalle stime riportate dall'USGS, le riserve di rocce fosfatice ammontano a circa 72.000 milioni di tonnellate (con un contenuto medio di P₂O₅ del 30%). Le principali riserve minerali di fosforo si trovano in Marocco (69,28%), Egitto (3,88%), Tunisia (3,46%), Algeria (3,05%), Cina (2,63%), Brasile (2,22%), Sud Africa (2,25%), Arabia Saudita (1,94%), Australia (1,52%), Stati Uniti (1,39%), Finlandia (1,39%), Giordania (1,39%) e Russia (0,83%).

Nell'ultimo decennio ci sono stati molti dibattiti sulle stime globali di riserve di rocce fosfatice e diverse sono le opinioni circa il momento del "picco del fosforo". La causa principale di tale aggiornamento è legata ad una reinterpretazione dei dati relativi alle riserve in Marocco.

Per quanto riguarda l'offerta primaria in Europa, i dati sulle risorse e riserve di rocce fosfatice di alcuni paesi europei sono disponibili nel sito web Minerals4EU, frutto di un progetto europeo conclusosi nel 2016.

La situazione, tuttavia, è destinata a cambiare in modo significativo da sviluppi recentissimi. Infatti, nei giorni in cui questo report veniva ultimato, la società Norge Mining ha dichiarato di avere scoperto in Norvegia un deposito sotterraneo di roccia fosfatica di alta qualità³⁰. La società stima che il deposito minerario dovrebbe contenere almeno 70 miliardi di tonnellate di minerale, raddoppiando quindi la riserva nota mondiale.

3.1.2 Produzione mondiale di rocce fosfatice e fosforo bianco

Il quantitativo complessivo di fosforiti estratte dalle miniere mondiali è stato pari a circa 220 milioni di tonnellate nel 2022 (USGS, 2023), mentre l'estrazione di rocce fosfatice è in costante crescita.

³⁰ <https://finanza.lastampa.it/News/2023/07/07/minerali-critici-in-norvegia-scoperto-il-piu-grande-deposito-di-roccia-fosfatica-del-mondo/NjFfMjAyMy0wNy0wN19UTEI>

L'attuale produzione di fosforite è concentrata in un numero limitato di paesi, nessuno dei quali si trova nell'UE, eccezion fatta per la Finlandia che ne produce una piccola quantità.

In Tabella 5 sono riportati i maggiori paesi produttori, con Cina, Marocco e Stati Uniti leader tra i paesi produttori con rispettivamente il 38%, il 18% e il 9% della produzione globale nel 2022. Si osserva come tra i maggior produttori mondiali vi è la Cina, nonostante la maggior parte di rocce fosfatice sia localizzata in Marocco (Tabella 5). La Finlandia ha prodotto nel 2022 in media 1000 Kt.

Tabella 5. Produzione di rocce fosfatice nel 2022

Paese	Produzione di roccia fosfatica (stima in kt di materiale)	%
Cina	85000	38,31%
Marocco	40000	18,03%
Stati Uniti	21000	9,47%
Russia	13000	5,86%
Giordania	10000	4,51%
Arabia Saudita	9000	4,06%
Brasile	5500	2,48%
Egitto	5000	2,25%
Vietnam	4500	2,03%
Perù	4200	1,89%
Tunisia	4000	1,80%
Israele	3000	1,35%
Senegal	2600	1,17%
Australia	2500	1,13%
Algeria	1800	0,81%
Sud Africa	1600	0,72%
Kazakistan	1500	0,68%
Togo	1500	0,68%
India	1400	0,63%
Finlandia	1000	0,45%
Uzbekistan	900	0,41%
Turchia	800	0,36%
Messico	450	0,20%
Altri paesi	1600	0,72%
Totale Mondo	221850	100,00%

Fonte: U.S. Geological Survey (2023)³¹

3.2 Offerta secondaria di fosforo

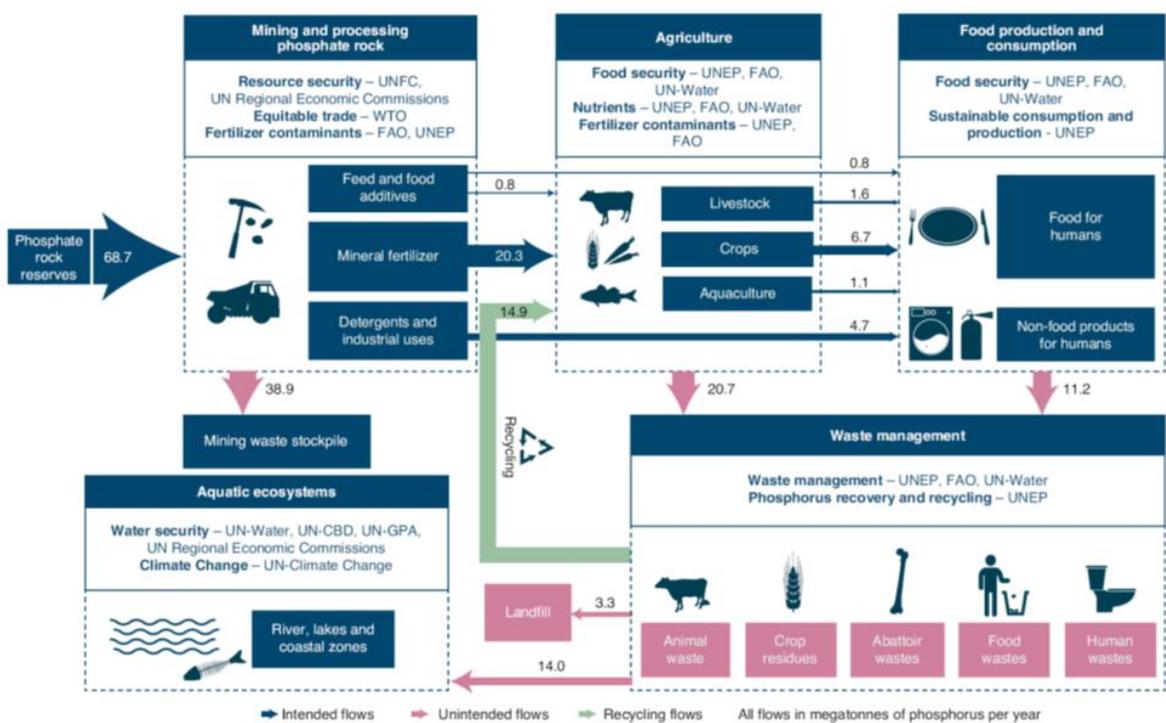
L'analisi dei flussi e le ricerche condotte da differenti soggetti dimostrano l'esistenza di alcuni punti fondamentali nella catena di valore del fosforo in cui attualmente vanno perdute quantità

³¹ <https://www.usgs.gov/centers/nmic/phosphate-rock-statistics-and-information>.

considerevoli di fosforo. Oltre alle perdite nelle fasi di estrazione, e lavorazione delle rocce fosfatiche, esistono infatti diversi flussi di origine antropica che derivano dall'utilizzo dei prodotti a base di fosforo e da cui è possibile recuperare fosforo (Materie Prime Seconde, MPS).

In Figura 7 sono riportati i flussi di fosforo (Mt/anno) a livello globale lungo l'intera catena del valore, dall'estrazione alla fase di smaltimento finale (Brownlie et al., 2021). È riportato, inoltre, il quadro internazionale di riferimento con le azioni finalizzate al raggiungimento di un coordinamento nei cinque settori primari, ossia quello agricolo, alimentare, gestione rifiuti, gestione delle risorse minerarie, gestione delle risorse idriche. Tali azioni rientrano in particolare nella petizione "Call for International Action on Phosphorus"³², finalizzata a chiedere il sostegno del governo nell'affrontare l'emergenza fosforo attraverso il coordinamento nei settori sopramenzionati.

Figura 7. Flussi globali di fosforo e quadro internazionale di riferimento.



Fonte: Brownlie et al. (2021)

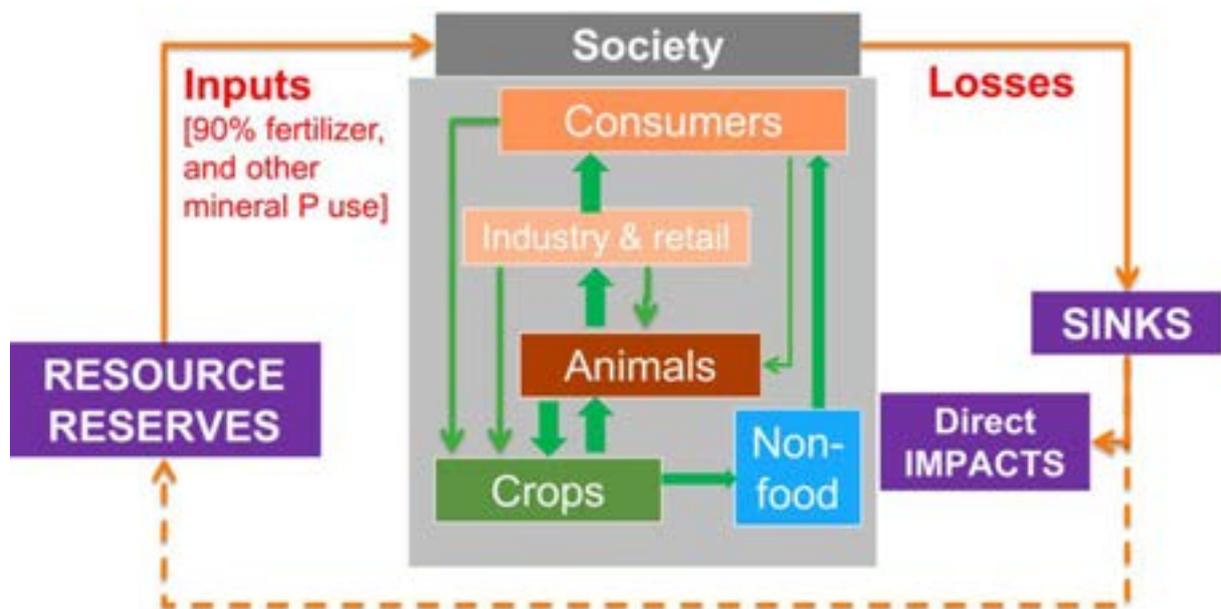
A livello europeo, lo studio più recente sui flussi di fosforo è quello di Van Dijk et al. (2016). Come riportato nel report del 2019 "Analisi dei giacimenti primari di fosforo e degli utilizzi attuali del fosforo in Italia e in Europa e stima dei costi di approvvigionamento" il lavoro riporta l'analisi dei flussi di

³² <https://www.opfglobal.com/>

fosforo legata alla catena alimentare nel 2005 in Europa (EU 27) e per singolo stato, individuando un sistema (Figura 8) costituito da:

- una serie di processi antropici coinvolti nella catena di valore del P (processo di produzione agricola, processo di produzione animale, processo di trasformazione alimentare, processo di produzione industriale, processo di consumo umano);
- flussi di P in ingresso per ogni processo (IMPORTS);
- flussi di P in uscita (EXPORT e PERDITE in ambiente) per ogni processo;
- una serie flussi di P che collegano i differenti processi.

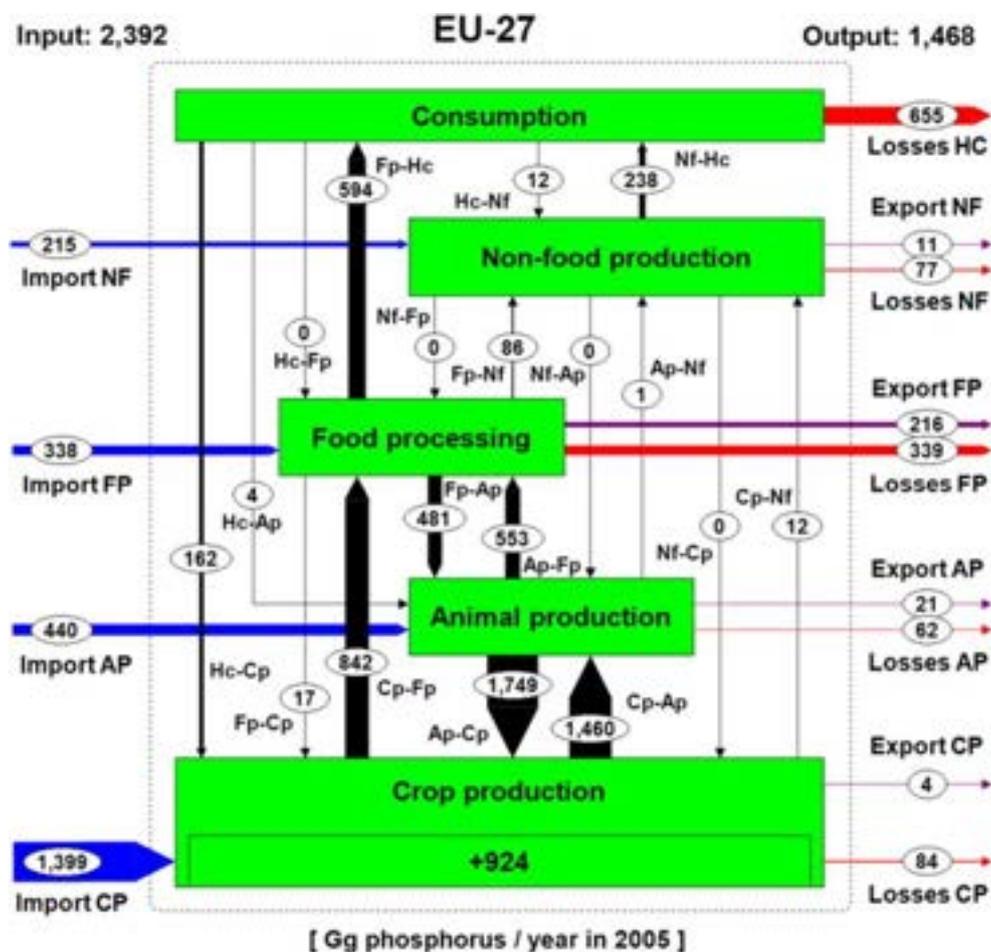
Figura 8. Flussi di fosforo



Fonte: Van Dijk et al. (2016)

Dall'analisi condotta da Van Dijk et al. 2016 si può estrapolare un bilancio generale europeo ed italiano del fosforo riferito all'anno 2005, così come mostrato in Figura 9 e Figura 10, bilancio che è stato qui riproposto per completezza di esposizione.

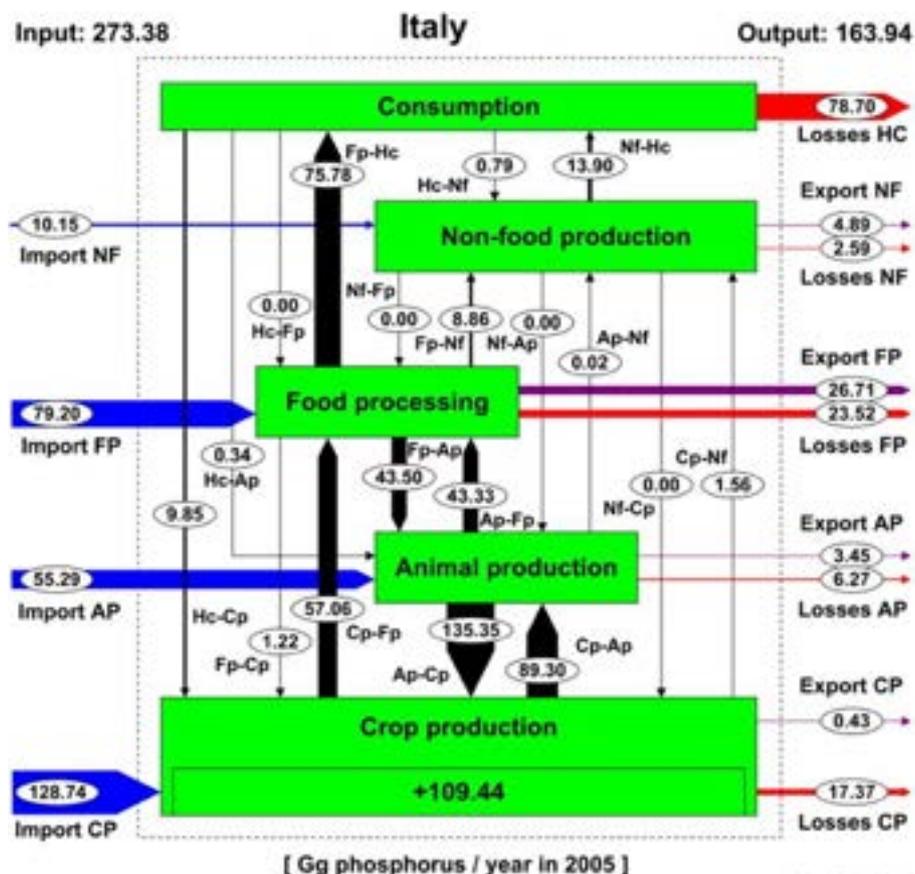
Figura 9. Uso del fosforo in Europa (EU27) nel 2005 (GgP/anno)



Legenda: In blu i flussi di importazione (IMPORT), in viola i flussi di esportazione (EXPORT), in rosso le perdite di P dal sistema, in nero i flussi tra i differenti processi individuati nei box rettangolari verdi, quali produzione agricola (CP, crop production), produzione animale (AP, animal production), trasformazione alimentare (FP, food processing), produzione industriale (NF, no-food production), e consumo umano (HC, human consumption). Lo spessore delle frecce indica la dimensione del flusso. Il bilancio positivo di + 924 gGP/anno nel box della produzione agricola, rappresenta l'accumulo netto di P nei suoli agricoli europei nel 2005.

Fonte: Van Dijk et al. (2016)

Figura 10. Uso del fosforo in Italia nel 2005 (GgP/anno)



Legenda: In blu i flussi di importazione (IMPORT), in viola i flussi di esportazione (EXPORT), in rosso le perdite di P dal sistema, in nero i flussi tra i differenti processi individuati nei box rettangolari verdi, quali produzione agricola (CP, crop production), produzione animale (AP, animal production), trasformazione alimentare (FP, food processing), produzione industriale (NF, no-food production), e consumo umano (HC, human consumption). Lo spessore delle frecce indica la dimensione del flusso. Il bilancio positivo di + 109.44 gGP/anno nel box della produzione agricola, rappresenta l'accumulo netto di P nei suoli agricoli italiani nel 2005.

Fonte: Van Dijk et al. (2016)

Con particolare riferimento alle perdite di P dal sistema, in Tabella 6 si riportano i quantitativi di P considerato perso da ogni singolo processo nel 2005 (Van Dick et al 2016), mettendo a confronto lo scenario italiano con quello europeo. Dall'analisi si evince che sia a livello europeo che italiano, i principali flussi da cui è possibile recuperare il fosforo provengono dai processi di trasformazione alimentare e del consumo umano.

Per il dettaglio delle perdite dei processi di trasformazione alimentare e del consumo umano si rimanda al report del 2019. È possibile affermare che, a livello nazionale, nel caso della trasformazione alimentare oltre il 90% delle perdite di fosforo sono legate agli scarti della macellazione, mentre nel caso del consumo umano il 52% delle perdite afferiscono ai fanghi di depurazione e il 26% agli scarti alimentari.

In Tabella 7 è riportato il potenziale europeo ed italiano di recupero del fosforo da alcune matrici secondarie. È possibile notare come il recupero del fosforo da matrici organiche consentirebbe di

ridurre l'uso dei fertilizzanti minerali, che ammonta rispettivamente a 1389 kton/anno e 127 kton/anno a livello europeo e nazionale, rispettivamente.

Tabella 6. Quantitativi di P perso per processo in Europa e in Italia

PROCESSO	EUROPA		ITALIA	
	Quantità di P perso (kton/anno)	% P perso	Quantità di P perso (kton/anno)	% P perso
Produzione agricola	84,5	7%	17,4	14%
Produzione animale	61,942	5%	6,3	5%
Produzione industriale	76,8	6%	2,589	2%
Trasformazione alimentare	338	28%	23,447	18%
Consumo Umano	653,2	54%	78,38	61%
TOTALE PERDITE	1214,442	100%	128,116	100%

Fonte: Elaborazione dati ENEA su dati Van Dijk et al. (2016)

È possibile, inoltre, osservare che l'Italia registra percentuali inferiori di recupero di P da fanghi di depurazione e rifiuti solidi biodegradabili rispetto alla media europea, mentre è in linea per quel che concerne il recupero di P dai rifiuti della macellazione. Ad oggi, sia a livello europeo che italiano, tali rifiuti rappresentano un comparto che presenta ampi margini di sviluppo e recupero.

Tabella 7. Quantitativi di P da offerta secondaria (kton/anno) a livello europeo ed italiano

Principale fonte di fosforo secondaria	EUROPA			ITALIA		
	Totale	Recuperato	Potenziale	Totale	Recuperato	Potenziale
Fanghi depurazione	373	147 ¹	226	49,2	8,7 ¹	40,5
Rifiuti solidi biodegradabili	189,9	14,5 ¹	175,4	21,6	1,1 ¹	20,5
Rifiuti macelli	310,7	17,7 ²	293	23,5	2 ²	21,5
Effluenti zootecnici ¹		1748			135	

¹ applicato in agricoltura; ² per produzione mangimi e fertilizzanti

Fonte: Elaborazione dati ENEA su dati Van Dijk et al. (2016)

Negli ultimi anni la possibilità di recuperare fosforo da fonti secondarie ha attirato l'attenzione in modo significativo sia nel mondo della ricerca sia nel mondo industriale ed istituzionale, in quanto il recupero di P consente di ridurre l'estrazione da fonti primarie e al contempo offre l'opportunità di contenere l'impatto ambientale.

Ad oggi sono disponibili processi per produrre direttamente fosforo bianco, P₄, da flussi di rifiuti ricchi di fosforo (ad es. Processo ICL Recophos per produrre P₄ da ceneri provenienti da incenerimento di fanghi di depurazione), ma tali processi sono disponibili prevalentemente su scala pilota. Con riferimento al Processo ICL sovraccitato, il produttore italiano di additivi ad alte prestazioni Italmatch

Chemicals ha di recente acquisito la tecnologia del progetto RecoPhos da Israel Chemicals Ltd (ICL); tale tecnologia consentirà di ottenere fosforo elementare di elevata purezza da flussi di rifiuti quali ad esempio le ceneri dei fanghi di depurazione (Additives for Polymers, 2020³³).

I progressi nella gestione ottimale del fosforo lungo l'intera catena del valore sono ostacolati dalla frammentazione di azioni e *policies* nonché dall'assenza di coordinamento intergovernativo (Brownlie et al., 2021). È dunque necessaria l'applicazione di un quadro di riferimento internazionale per consolidare la conoscenza collettiva sulla catena del valore del fosforo, a livello nazionale e globale, stabilire target comuni sulla gestione del fosforo e quantificare i benefici economici ed ambientali che si possono ottenere da una gestione sostenibile.

3.2.1 Le matrici per il recupero di fosforo

Esistono diverse fonti secondarie di fosforo che, se opportunamente sfruttate, possono sostituire una parte significativa del fosforo prodotto mediante estrazione da fonti primarie (Jupp et al., 2021). Le matrici con il più elevato contenuto di fosforo sono rappresentate da acque reflue, fanghi di depurazione, scarti di produzione animale e, in misura minore, scarti del settore agroalimentare; il contenuto di fosforo in tali matrici è riportato in Tabella 8 (Witek-Krowiak et al., 2022).

Tabella 8. Contenuto di fosforo nelle principali matrici organiche

Matrice	Contenuto di fosforo
Letame suino (frazione liquida)	0,203 g/L
Letame bovino	4,10 g/kg – 18,3 g/kg base secca
Liquame di letame ovino	67,5–101,0 mg/L
Liquame suino	1,9 g/kg
Lettiere avicole	13,6 g/kg
Rifiuti di macellazione	1,79 g/kg base secca
Ossa di bestiame	104 g/kg base secca
Ossa suine	93,6 g/kg base secca
Ossa di pollame	85,2 g/kg base secca
Ceneri di ossa di pesci	172 g/kg
Ceneri di ossa di pollame	155 g/kg
Ceneri di ossa di manzo	142 g/kg
Ceneri di fanghi di depurazione	80 – 88,4 g/kg
Fanghi di depurazione	25,68 g/kg
Rifiuti di canna da zucchero	5,30 g/kg
Rifiuti alimentari di tipo vegetale (es. broccoli)	0,26 g/kg
Rifiuti alimentari	4,2 g/kg

Fonte: adattamento da Witek-Krowiak et al. (2022)

Le acque reflue sono fonte di diversi macro e microelementi, materiale organico e metalli pesanti; esse si caratterizzano da una bassa concentrazione di fosforo, ma da un elevato volume (Witek-Krowiak et al., 2022).

I fanghi di depurazione sono tra le matrici di tipo organico maggiormente ricche in fosforo (2-3% circa), seconde soltanto a matrici quali ossa e farina (Witek-Krowiak et al., 2022; Jupp et al., 2021).

³³ <https://www.magonlinelibrary.com/doi/abs/10.1016/S0306-3747%2820%2930039-7>

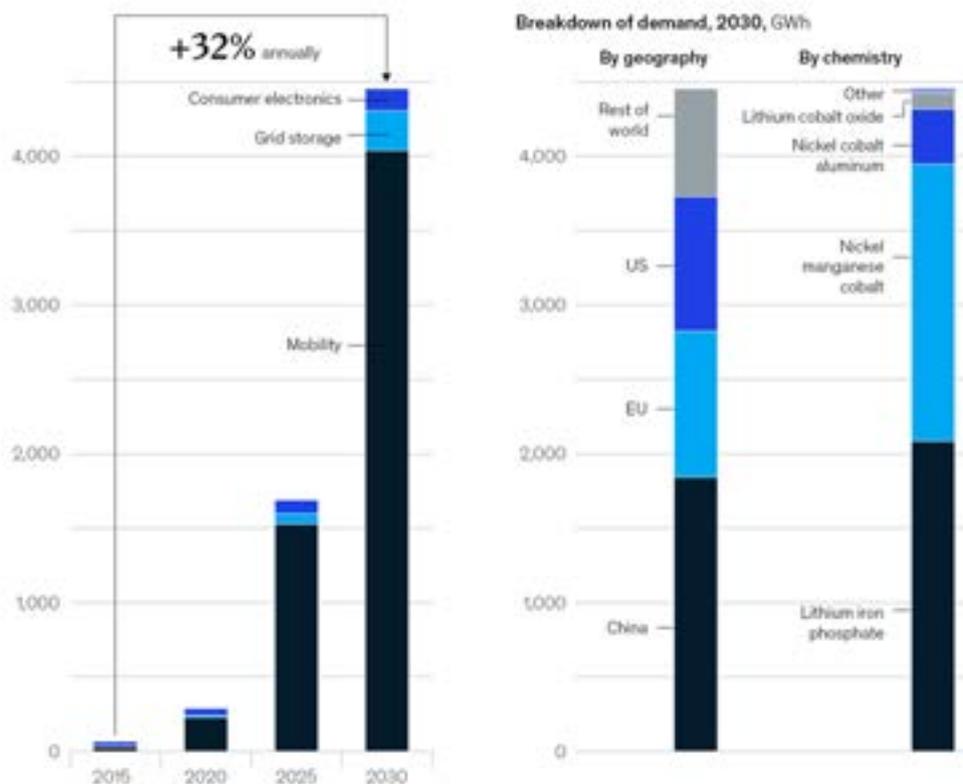
In seguito all'incenerimento di tali fanghi, il fosforo si concentra in gran parte nelle ceneri dei fanghi di depurazione, che generalmente hanno un contenuto di fosforo pari al 4-12% (Luyckx and Van Caneghem, 2021).

Gli effluenti zootecnici contengono grandi quantità di materia organica, composti azotati (acido urico dalle urine, azoto organico dalle feci) e fosforo, principalmente acido fitico risultante da una dieta a base di cereali (Witek-Krowiak et al., 2022).

Le ossa animali sono un'importante fonte di fosforo; in tale matrice, esso è principalmente presente sottoforma di apatite, fosfato di calcio cristallino insolubile (Ahmed et al., 2021).

Un'importante fonte secondaria di fosforo è rappresentata infine dalle batterie agli ioni di litio con chimica litio-ferro-fosfato (LFP). Le batterie LFP hanno una serie di vantaggi, quali basso costo delle materie prime, elevata vita utile, elevata stabilità termica e bassa tossicità (Wang et al., 2022; Forte et al., 2020). Il fosforo è presente sottoforma di fosfato (LiFePO_4) nel materiale catodico, oltre che nell'elettrolita sottoforma di LiPF_6 . Il contenuto di fosforo nel materiale catodico è pari al 16 - 20 % in peso su base secca (Li et al., 2017; Yang et al., 2017). Le batterie LFP negli ultimi anni stanno acquisendo quote di mercato sempre maggiori, andando a competere con le batterie con chimica nichel-manganese-cobalto, NMC (Figura 11). Tale incremento è legato prevalentemente al fatto che si tratta di batterie *cobalt-free*, con conseguenti vantaggi in termini di sostenibilità ambientale. Se dunque in passato le applicazioni delle batterie LFP erano relegate prevalentemente ai sistemi di accumulo stazionario, oggi numerose case automobilistiche stanno investendo nella produzione di batterie LFP per la mobilità elettrica.

Figura 11. Domanda di batterie agli ioni di litio, 2015–230, gigawatt-hours (GWh)



Fonte: McKinsey & Company (2022)

3.2.2 Tecnologie di trattamento

In questo paragrafo si riportano le tecnologie di recupero del fosforo dalle diverse matrici (acque reflue, fanghi, ceneri dei fanghi, etc.). Per quanto riguarda i rifiuti solidi occorre fare un distinguo preventivo tra fanghi recuperabili in agricoltura e fanghi non destinabili a tale forma di recupero. Per i fanghi aventi caratteristiche idonee al riutilizzo agricolo, trattamenti quali il condizionamento biologico e/o chimico (stabilizzazione ed igienizzazione), la digestione anaerobica e/o aerobica, la stabilizzazione aerobica tramite produzione di ammendante compostato, la produzione di gessi di defecazione da fanghi e carbonati di defecazione sono ormai storicamente adottati. Per quanto riguarda invece tutti quei rifiuti non idonei al recupero agricolo, trattamenti quali precipitazione della struvite e acidificazione rientrano nelle pratiche comuni.

Per quanto riguarda le acque reflue, affinché il recupero del fosforo sia economicamente sostenibile, la concentrazione di fosforo deve essere superiore a 50-60 mg/L. Questi valori si ottengono in genere a valle di una fase di pretrattamento delle acque reflue mediante trattamento EBPR (Enhanced biological phosphorus removal); la fase liquida di scarto viene dunque in genere utilizzata per il recupero del fosforo sottoforma di struvite o polifosfato di calcio (Jupp et al., 2021).

Per quanto riguarda i fanghi, essi possono contenere circa il 90% del fosforo in ingresso agli impianti di trattamento acque reflue. Esistono diverse tecnologie per il recupero del fosforo dai fanghi, alcune delle quali hanno visto un'implementazione di tipo commerciale. Tali tecnologie si possono dividere fondamentalmente in lisciviazione chimica e processi termici. La lisciviazione chimica, seguita da precipitazione del fosforo in genere come struvite, ha come svantaggio la co-solubilizzazione dei metalli presenti nei fanghi stessi o aggiunti nelle fasi di pretrattamento delle acque reflue. L'assenza di metalli nel prodotto recuperato è tuttavia imperativa ai fini del soddisfacimento dei requisiti legislativi e può essere perseguita in diverse maniere; ad esempio, nel caso del processo Stuttgards, viene aggiunto acido citrico quale agente complessante prima dell'aggiunta di MgO e NaOH ed i complessi metallici risultanti rimangono in soluzione durante la precipitazione della struvite. Per quanto riguarda i trattamenti termici, essi includono processi idrotermici, pirolisi e gassificazione e si distinguono a seconda della temperatura operativa e del contenuto di ossigeno.

Il recupero del fosforo dalle ceneri sta diventando sempre più interessante da quando l'impiego diretto dei fanghi per uso agricolo è stato vietato in alcuni Paesi (Svizzera, Paesi Bassi, Germania). La presenza di contaminanti quali metalli pesanti, prodotti farmaceutici ed agenti patogeni, unitamente alle singole specificità territoriali dei Paesi sopramenzionati (quali, ad esempio, morfologia dei terreni e concentrazione già di per sé elevata di nutrienti nei terreni stessi), ha infatti portato a limitare o addirittura vietarne il loro impiego in agricoltura. I Paesi in cui è in vigore tale legislazione optano dunque per l'incenerimento, processo che porta alla produzione di ceneri altamente ricche in fosforo. Allo stato attuale tali ceneri sono spesso incorporate nel cemento o nell'asfalto o semplicemente inviate a smaltimento in discarica, con un conseguente spreco di risorse strategiche, in quanto esse contengono circa l'87% del fosforo in ingresso agli impianti di depurazione. In analogia con quanto accade per fanghi di depurazione, i trattamenti di recupero del fosforo dalle ceneri possono essere suddivisi in processi chimici e termochimici. Altri Paesi, con caratteristiche morfologiche tipiche del sud Europa (Portogallo, Spagna, Francia ed Italia), al momento non hanno vietato lo spandimento, lasciando l'opzione del recupero agricolo aperta, al fine di aumentare la sostanza organica presente nel terreno. L'importanza di far riferimento agli aspetti morfologici specifici dei diversi terreni è peraltro evidenziata nell'ultimo aggiornamento della direttiva fanghi (SWD(2023) 157 final).

Le possibili opzioni per il recupero del fosforo dalle acque reflue sovradescritte differiscono sostanzialmente fra loro in termini di efficienze di recupero. Il recupero diretto della struvite a valle del trattamento biologico (EBPR) presenta efficienze comprese tra il 10 e il 15% se applicato su acque reflue non trattate; il recupero del fosforo a valle del trattamento dei fanghi (mediante disidratazione e digestione) è nel range 10-50%, mentre il recupero del fosforo dalle ceneri presenta rese elevate (85–95%). In Tabella 9 sono riportati vantaggi e svantaggi delle diverse tecnologie di rimozione e recupero del fosforo³⁴.

³⁴ Si fa presente che la tabella sarà aggiornata per tenere in considerazione i risultati pervenuti dal GdL2 “Tecnologie e Buone Pratiche”.

Tabella 9. Comparazione delle diverse tecnologie di rimozione e recupero del fosforo dalle acque reflue

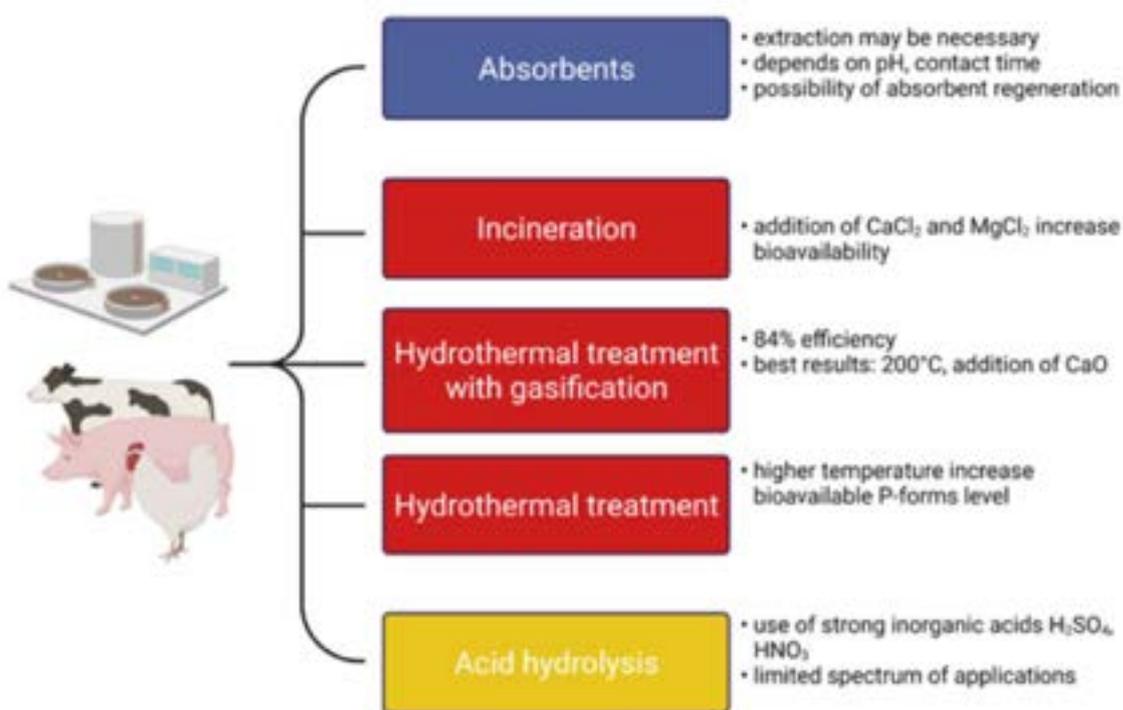
Trattamento	Vantaggi	Svantaggi	Focus sul recupero del fosforo	Potenziale di recupero del fosforo
Precipitazione chimica	Processo affidabile e consolidato Efficienza di rimozione del P \geq 90-95%	Elevati costi operativi per l'impiego di reagenti chimici Recupero e riutilizzo complesso dei precipitati di Fe/Al Conveniente dal punto di vista economico solo per concentrazioni elevate di P	Possibilità di recupero del fosforo con il trattamento dei fanghi	Basso (recupero difficoltoso del P dai precipitati chimici)
Cristallizzazione della struvite	Disponibile su scala commerciale Elevate efficienze di recupero del P	Necessità di un controllo preciso delle condizioni operative Aggiunta di Mg^{2+} e NH_4^+	Fase liquida con cristallizzatore	Alto (richiede elevate concentrazioni di P in ingresso per ottenere prodotti di elevata qualità)
Adsorbimento	Funzionamento semplice e costi contenuti Elevata selettività ed efficienza per basse concentrazioni di P	Potrebbe essere necessario il pretrattamento delle acque reflue Influenza di ioni competitori	Desorbimento	Alto (costi contenuti ed elevate efficienze di adsorbimento del P)
Trattamento biologico EBPR	Costi di esercizio contenuti Rimozione contemporanea di sostanza organica, N, P ed altri inquinanti	Bassa efficacia in caso di rimozione di fosforo in tracce Necessità di condizioni operative rigorose	Trattamento dei fanghi di depurazione	Medio (bilanciamento tra recupero del P e costi di trattamento dei fanghi; accettazione sociale; considerazioni di tipo ambientale)
Processi a membrana	Ridotto consumo di reagenti chimici Separazione e rimozione elevate I concentrati possono essere impiegati per il recupero del P Il recupero di materia ed energia incrementa la fattibilità economica del trattamento delle acque	Sensibilità nei confronti di sostanze inibitrici Necessità di gestire i fanghi in modo sostenibile Costi di impianto elevati Costi operativi elevati Fenomeno di fouling delle membrane	Recupero del P dai concentrati Possibile rimozione e recupero del P in un unico sistema	Elevati costi di impianto e di esercizio

Fonte: adattamento da Zheng et al. (2023)

Le fonti potenziali da cui è possibile recuperare il fosforo sono: rifiuti organici (quali rifiuti zootecnici, scarti di macellazione e rifiuti alimentari) e batterie litio-ferro-fosfato.

In Figura 12 è riportata una schematizzazione delle possibili tecnologie di recupero del fosforo da acque reflue e rifiuti organici (Witek-Krowiak et al. (2022)). I processi idrotermici, i processi termochimici e l'adsorbimento sono caratterizzati da elevate efficienze di recupero del fosforo (>95%); per quanto riguarda i sottoprodotti di origine animale e altri rifiuti biologici, i processi chimici sembrano essere la soluzione ottimale, con efficienze di recupero superiori al 96%. A causa del loro grande volume e del contenuto di fosforo relativamente basso, le acque reflue sono una risorsa che richiede in genere trattamenti aggiuntivi per recuperare il fosforo; in tale ottica, il pretrattamento delle acque reflue con metodi combinati sembra essere una strada possibile per migliorare le efficienze di recupero.

Figura 12. Possibili metodi per il recupero del fosforo



Fonte: Witek-Krowiak et al., 2022

Per quanto riguarda le batterie LFP, nonostante in letteratura siano presenti numerosi studi incentrati sulla loro valorizzazione, la maggior parte viene applicata in scala laboratorio (Forte et al., 2020). Ciò è dovuto principalmente al fatto che i costi del riciclo non sono compensati dai ricavi del prodotto recuperato. Tuttavia, lo sviluppo di un processo di trattamento adeguato per questa tipologia di batterie deve essere incoraggiato e promosso considerato il valore strategico dei materiali in esse contenuti (fosforo, litio e grafite) e per contenere i rischi ambientali causati da una gestione impropria.

4 La domanda di fosforo

La domanda di fosforo elementare è diminuita negli ultimi 10-20 anni a causa della sostituzione dell'*acido termico* con il cosiddetto *acido umido* per gli usi del P_4 come additivi alimentari e per la lavorazione dei metalli, traducendosi in un calo di capacità produttiva sia in Europa che negli Stati Uniti. Al contrario, la capacità produttiva del P_4 in Cina è aumentata rapidamente. Come la Cina, anche il Vietnam ha aumentato la capacità produttiva negli ultimi 10 anni (fino al 2016). Durante la pandemia il consumo globale di prodotti chimici a base di fosforo si è ridotto ma le previsioni indicano una ripresa di circa 1-2% all'anno fino al 2025 (IHS, 2020)³⁵.

Tuttavia, poiché gli utilizzi industriali del fosforo sono variegati, la domanda di fosforo dipende dall'andamento del mercato dei prodotti per cui viene impiegato. Nella trattazione che segue si illustrano le principali applicazioni di fosforo con i relativi consumi e l'andamento dei prezzi.

4.1 Applicazioni

Come meglio verrà declinato nel proseguo del paragrafo molteplici sono gli impieghi del fosforo. Il processo di produzione dei fertilizzanti prevede prevalentemente l'utilizzo di acido fosforico ottenuto dalla lavorazione della roccia fosfatica mediante processi ad umido. Anche alcuni prodotti industriali contenenti fosforo (integratori alimentari, ritardanti di fiamma, polifosfati) possono essere ottenuti utilizzando acido fosforico, ma molti altri oggi prevedono l'utilizzo di fosforo elementare (P_4). I prodotti derivati da P_4 includono: additivi per lubrificanti, intermedi per l'industria farmaceutica, prodotti agrochimici, agenti anticalcare, detergenti, ritardanti di fiamma, fiammiferi e articoli pirotecnici, agenti per la nichelatura, asfalto e additivi plastici, catalizzatori, materiali luminescenti, molecole per l'estrazione di metalli (la maggior parte del cobalto prodotto globalmente è raffinato utilizzando un intermedio al fosforo). Tra le applicazioni quantitativamente importanti si annoverano i ritardanti di fiamma (in sostituzione dei ritardanti di fiamma bromurati) e i prodotti chimici per la lotta agli incendi, i fosfonati utilizzati nel trattamento delle acque industriali e l'osmosi inversa e il glifosato (l'erbicida più venduto al mondo). Un'area di potenziale forte crescita è l'impiego nelle batterie litio-ferro-fosfato (elettronica, veicoli elettrici, accumulo di rete) che consentono un minor rischio di incendio rispetto ad altri tipi esistenti di batterie agli ioni di litio.

Il contenuto di fosforo (P) nelle rocce fosfatiche, nei fertilizzanti e nei diversi prodotti industriali è spesso espresso come percentuale di pentossido di fosforo o anidride fosforica (P_2O_5). Inoltre, il titolo della roccia fosfatica può essere espresso anche come BPL, ovvero "bone phosphate lime", nome comune del fosfato tricalcico ($Ca_3(PO_4)_2$). È possibile passare da un'unità di misura all'altra attraverso i seguenti fattori di conversione:

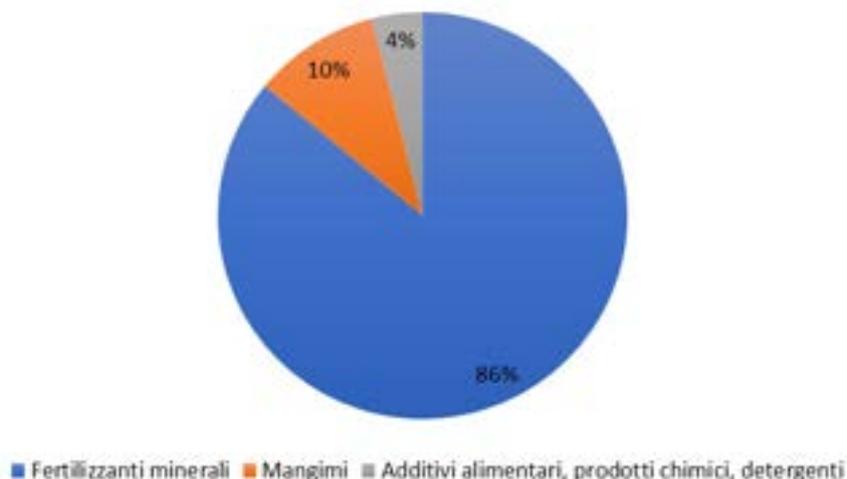
- $P = 0.4364 \times P_2O_5$
- $P_2O_5 = 2.2914 \times P$
- $BPL = 2.1852 \times P_2O_5$
- $P_2O_5 = 0.4576 \times BPL$
- $P = 0.1997 \times BPL$

³⁵<https://www.spglobal.com/commodityinsights/en/ci/products/phosphorus-chemical-economics-handbook.html>

4.1.1 Usi finali del fosforo derivante dalla lavorazione della roccia fosfatica mediante trattamenti ad umido

Come mostrato in Figura 13, il fosforo derivante dalla lavorazione della roccia fosfatica mediante trattamenti ad umido è utilizzato per circa l'86% per la produzione di fertilizzanti, il 10% per la produzione alimentare e il 4% per ritardanti di fiamma e detergenti (Commissione Europea, JRC, 2023).

Figura 13. Ripartizione percentuale delle applicazioni della roccia fosfatica.



Fonte: Commissione Europea, JRC (2023).

La maggior parte del fosforo è utilizzato a livello globale come fertilizzante per le colture, solitamente associato agli altri due principali nutrienti, l'azoto e il potassio, ma anche con altri elementi quali ad esempio lo zolfo, il manganese, il calcio o il rame.

La materia prima dei fertilizzanti fosfatici è costituita dalle rocce fosfatiche che contengono fosfato tricalcico ($\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$). Il $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ non è solubile in acqua e non viene assorbito dalle piante. Per renderlo assimilabile, bisogna attaccarlo con acido solforico e acido fosforico mediante processo industriale per ottenere fosfato bicalcico CaHPO_4 (limitatamente assimilabile dalle piante) e fosfato monocalcico $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ (completamente solubile e assimilabile dalle piante). Il quantitativo di fosforo nei concimi viene espresso come anidride fosforica (P_2O_5).

I concimi fosfatici più diffusi in commercio sono riportati in Tabella 10.

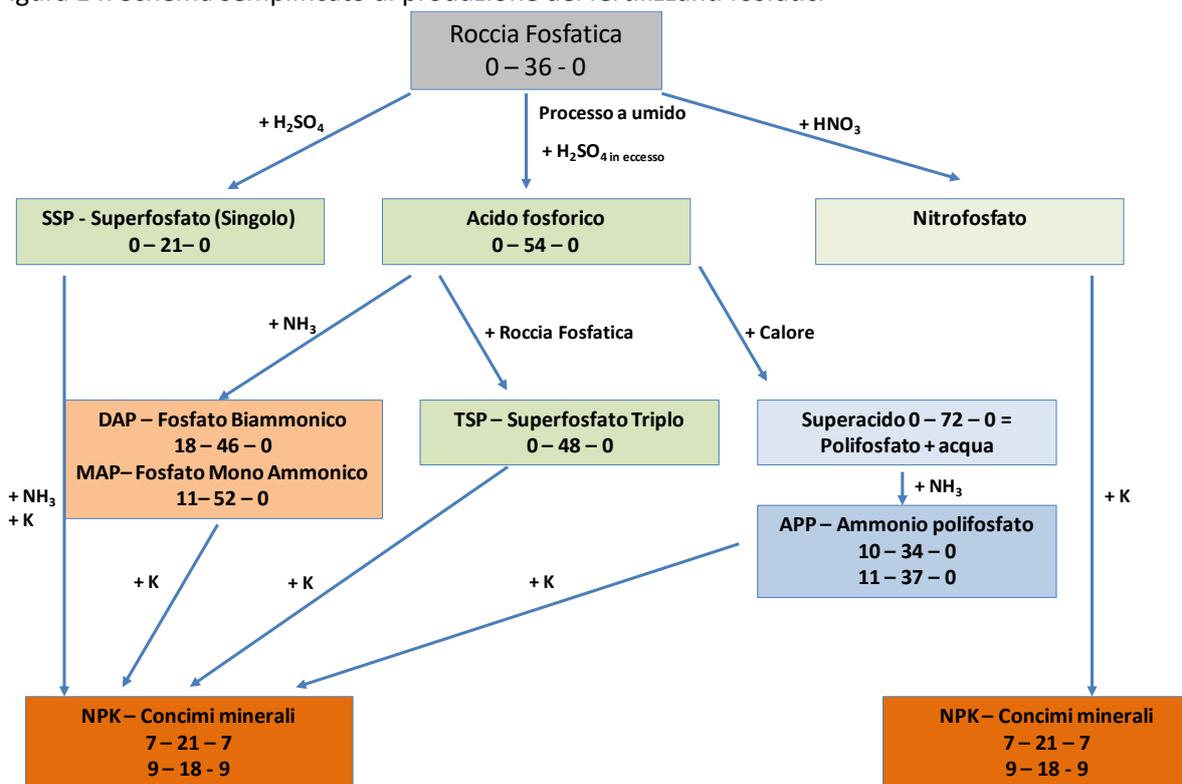
Tabella 10. Principali fertilizzanti fosfatici

Fertilizzante	Descrizione
Fosfato roccioso (Apatite) Titolo P_2O_5 = 24 – 38%	Le rocce fosfatiche possono essere direttamente commercializzate anche come fosfato naturale tenero o fosforite macinata (titolo 25%, ma con fosforo solubile in acidi minerali). A causa della loro scarsa solubilità hanno una efficacia fertilizzante molto scarsa, soprattutto in ambiente basico. Trovano impiego per concimazioni di fondo soprattutto in frutteti, prati e colture permanenti. Sono utilizzate in agricoltura biologica, e come ingrediente in altri fertilizzanti più complessi. I titoli del fosfato roccioso sono variabili: P_2O_5 al 36% (origine Togo), P_2O_5 al 38% (origine Nauru), P_2O_5 al 24%, 26%, 28%, 29%, 30% (origine Egitto), P_2O_5 al

Fertilizzante	Descrizione
	32% (origine Giordania).
Super fosfato normale (SSP - single super phosphate) o (GSSP - granular single super phosphate) Titolo P ₂ O ₅ = 16 – 20%	Il super fosfato normale, detto 19/20, è un composto più forte e più solubile del fosfato naturale ma è meno potente dei composti di fosfato di ammonio o super concentrato. È ottenuto dal trattamento delle fosforiti con acido solforico. Il 93% del titolo deve essere fosfato monocalcico (fosforo in forma molto solubile), è un concime fisiologicamente acido, col vantaggio di contenere gesso (12% di zolfo). Il super fosfato normale si presenta in forma granulare senza additivi meccanici. Viene utilizzato in agricoltura come fertilizzante minerale. Il 19% è la %P ₂ O ₅ solubile in acido citrico e 21% è la % di fosforo totale
Perfosfato concentrato Titolo P ₂ O ₅ = 25 – 46%	Il perfosfato concentrato è ottenuto dal trattamento delle fosforiti con acido solforico e fosforico. Il 93% del titolo deve essere fosfato monocalcico (fosforo in forma molto solubile). Il titolo dei composti concentrati più recenti arriva al 46%
Super Fosfato Triplo (TSP) Granulato Titolo P ₂ O ₅ = 38 – 48%	Il Superfosfato triplo è ottenuto dal trattamento di fosforiti grezze con acido fosforico. L'85% del titolo deve essere fosfato monocalcico (fosforo in forma molto solubile). È quindi più concentrato, per questo più economico, ma privo di zolfo. In genere contiene il 46% di fosfato, solubile in citrato ammonico neutro e acqua. Di questa, tipicamente il 90%, è solubile in sola acqua. Poiché il fosfato contenuto nel super fosfato triplo granulato non è mai completamente solubile in acqua, non può essere utilizzato nella produzione di fertilizzanti liquidi.
Fosfato monoammonico (MAP) Titolo P ₂ O ₅ = 52– 61% N: P: K = 12-61-0; 11 – 52 – 0	Il fosfato ammonico è un buon concimatore e viene usato nella produzione di fertilizzanti complessi e può essere usato come fertilizzante supplementare per ortaggi e fiori. Può inoltre essere anche utilizzato: - come additivo nei mangimi per allevamento del bestiame; - come fertilizzante supplementare per la produzione di lievito (alimentazione, alcool, prodotti da forno, birra); - nell'industria farmaceutica; - come impregnante tessile, nel compensato e nel legname per tagliafuoco; - per la preparazione di soluzioni tagliafuoco utilizzate nel trattamento del legno da costruzione; - per la produzione di estintori a polvere.
Fosfato di ammonico (DAP) Titolo P ₂ O ₅ = 46 – 53% N: P: K = 21-53-0; 18-46-0	Chiamato comunemente DAP o 18-46, dove 18% è il contenuto in N e 46% è il contenuto in P ₂ O ₅ . Il concime fosfato diammonico è un prodotto vegetale ricco di fosforo minerale. Viene utilizzato molto dagli agricoltori per la produzione di grano e per le colture "a righe" come mais, frumento, segale e alcune erbe di prato. Alcuni agricoltori possono scegliere di mescolare questo concime con altri fertilizzanti per soddisfare le esigenze specifiche dei raccolti e dei terreni. Può essere applicato in diversi modi: prima, durante o dopo aver piantato le colture.
Concimi azoto-fosfo - potassici (NPK) Titolo P ₂ O ₅ = 18 – 21% N: P: K = 7 – 21 – 7; 9 – 18 -9	I concimi NPK sono concimi completi, contenenti azoto, fosforo e potassio in quantità variabili.

In Figura 14 si riporta invece una classificazione semplificata dei diversi fertilizzanti in funzione del loro processo produttivo. Ad oggi la maggior parte dei fertilizzanti è prodotta utilizzando acido fosforico, prevalentemente ottenuto mediante i processi ad umido.

Figura 14. Schema semplificato di produzione dei fertilizzanti fosfatici



Fonte: Adattamento da Van Kauwenbergh (2010) e Univesità del Minnesota³⁶

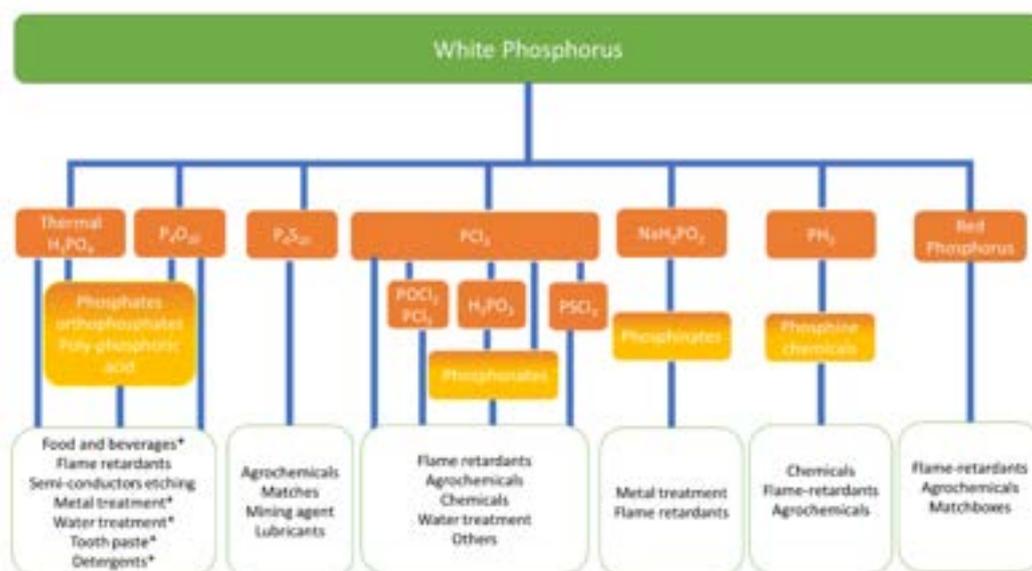
4.1.2 Usi finali del fosforo bianco

Il fosforo elementare (noto anche come fosforo bianco/giallo e/o fosforo rosso) viene prodotto dalla roccia fosfatica in forni di riduzione elettrotermici dedicati ed è il materiale di partenza per molti prodotti di fosforo di alta qualità. Questo processo termico è altamente intensivo in termini energetici consumando fino a 14 MWh per tonnellata di P₄. A livello mondiale, il fosforo elementare rappresenta circa il 2-3% dell'uso della roccia fosfatica (ESPP, 2020). Il fosforo bianco, a livello globale, è utilizzato principalmente per produrre acido fosforico di elevata purezza ma anche nella produzione di diversi derivati quali: fosforo rosso, tricloruro di fosforo (PCl₃), anidride fosforica (P₂O₅), pentasolfuro di fosforo (P₂S₅), ipofosfito di sodio (NaH₂PO₂) e fosfina (PH₃).

Una grande varietà di settori industriali dell'UE dipende da fosforo elementare e dai suoi derivati che non possono essere ottenuti attraverso trattamenti ad umido. Questi includono non solo l'industria chimica che produce sostanze chimiche a base di fosforo (come fosfonati e ritardanti di fiamma) ma anche industrie per la produzione di metalli, lubrificanti, prodotti farmaceutici ed alimentari (ESPP, 2020). La Figura 15 rappresenta i principali prodotti intermedi e finali che derivano dal fosforo elementare e le relative applicazioni industriali.

³⁶ <https://extension.umn.edu/phosphorus-and-potassium/understanding-phosphorus-fertilizers#organic-vs.-inorganic-620260>.

Figura 15. Schema semplificato dei prodotti intermedi e finali derivati dal P₄ e relative applicazioni industriali.



Fonte: de Matos et al. (2021).

In Tabella 11 si riportano più in dettaglio i prodotti intermedi e finali derivati dal P₄ e le relative applicazioni industriali, come declinato nel report del 2019.

Tabella 11. Principali applicazioni industriali del P₄.

Prodotto iniziale	Reazione	Prodotti Intermedi	Principali prodotti finali
	+ aria e acqua	H ₃ PO ₄ (Acido Fosforico)	<ul style="list-style-type: none"> - Additivi per preparazione alimentare (carne-pesce-patate): acidi per lavorazione pane/agenti emulsionanti alimentari/ agenti per regolare l'umidità nei cibi/ correttori di acidità nelle bevande - Mangimi per animali - Pasta dentifricio - Detergenti - Prodotti per il trattamento delle acque - Materiali luminescenti - Sequestranti di durezza - Agenti per il decapaggio - Agenti disidratanti per chimica organica - Solventi per filatura - Catalizzatori - Ritardanti di fiamma - Tensioattivi - Inibitori di corrosione - Agenti antiSTATici/bagnanti - Agenti antischiuma - Solventi - Additivi per lubrificanti e oli

Prodotto iniziale	Reazione	Prodotti Intermedi	Principali prodotti finali
Fosforo Elementare (P ₄)			<ul style="list-style-type: none"> - Agenti flocculanti - Reagenti per la flottazione - Agenti antiusura e per la lavorazione dei metalli
	+ Cloro	PCl ₃ (Tricloruro di fosforo), PCl ₅ (Pentacloruro di fosforo), POCl ₃ (Ossicloruro di fosforo)	<ul style="list-style-type: none"> - Erbicidi - Pesticidi (Glifosfato) - Stabilizzatori per plastiche - Ritardanti di fiamma - Agenti chelanti - Tensioattivi - Elettroliti per batterie - Agenti cloruranti per industria farmaceutica - Agenti cloruranti - Anticalcari
	+ aria	P ₄ O ₁₀ (anidride fosforica) & PPA (Acido polifosforico)	<ul style="list-style-type: none"> - Ritardanti di fiamma - Additivi plastici - Agenti disidratanti - Additivi per asfalto - Tensioattivi - Inibitori di corrosione - Detergenti industriali - Agenti antiSTATICI/bagnanti - Agenti antischiuma - Solventi - Additivi per lubrificanti e oli - Agenti flocculanti - Reagenti per la flottazione - Agenti antiusura e per la lavorazione dei metalli
	+ Zolfo	P ₄ S ₁₀ (Pentasolfuro di fosforo)	<ul style="list-style-type: none"> - Insetticidi - Additivi lubrificanti - Agenti per flottazione - Additivi per olio motore
	+ acqua e acido fosforico	PH ₃ (Fosfina)	<ul style="list-style-type: none"> - Agenti estrattivi - Ligandi e catalizzatori - Biocidi - Ritardanti di fiamma - Liquidi ionici - Agenti riducenti - Materiale per sintesi - Agenti per l'attività estrattiva - Drogaggio per semiconduttori
	+ idrossido di sodio + idrossido di calcio	NaH ₂ PO ₂ (Iposolfito di sodio)	<ul style="list-style-type: none"> - Nichelatura elettrolitica - Ritardanti di fiamma - Agenti estrattivi - Additivi per la plastica/Nylon - Lievito artificiale
Fosforo Elementare (P ₄)	+ calore	Fosforo rosso	<ul style="list-style-type: none"> - Fiammiferi di sicurezza - Prodotti pirotecnici - Ritardanti di fiamma - Pigmentazione - Prodotti per sintesi organica - Prodotti per disinfezione (fumigazione) - Bronzi speciali

Prodotto iniziale	Reazione	Prodotti Intermedi	Principali prodotti finali
	calore	Fosforo nero	<ul style="list-style-type: none"> - Potenziale uso nel campo energetico, per la produzione di transistor più efficaci di quelli al silicio - Potenziale uso nell'optoelettronica, perché conduttore e se steso su una superficie diviene trasparente - Potenziale uso nei bio-sensori

Fonte: Elaborazione ENEA da Willem Schipper³⁷

Tra le applicazioni del P₄ va precisato che esso è impiegato direttamente per la produzione di bombe e proiettili incendiari. Tuttavia, nelle operazioni militari il fosforo bianco può essere utilizzato solo per illuminare le posizioni nemiche. L'uso diretto di tale arma è stato vietato dalla Convenzione di Ginevra in quanto al momento dello scoppio produce un forte bagliore e sprigiona energia termica, inoltre il contatto provoca ustioni inguaribili. Altra applicazione del P₄ prevede il suo utilizzo per la preparazione di droghe, in particolare il fosforo rosso è inserito nella lista dei precursori di alcuni stupefacenti.

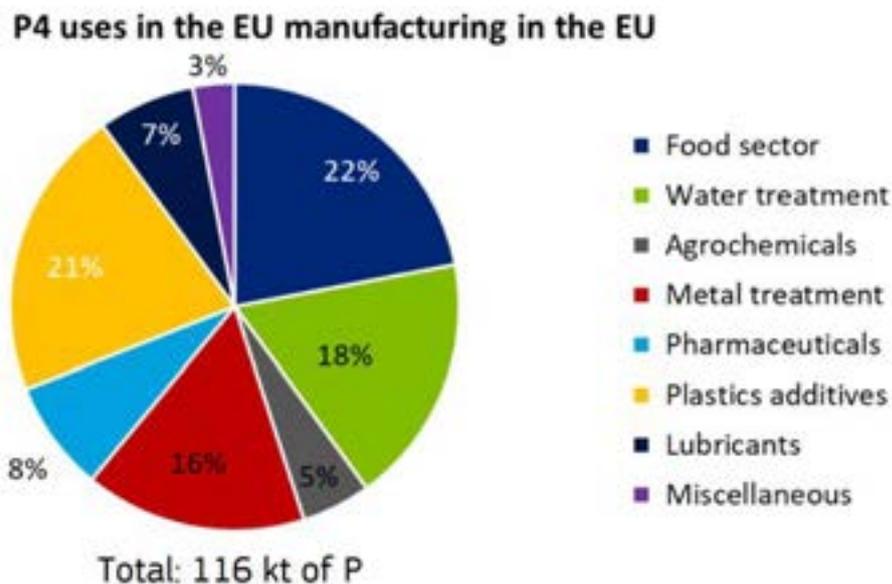
Figura 16 e

Figura 17 mostrano, rispettivamente, il totale e la ripartizione percentuale degli usi del P₄ e dei suoi prodotti finiti nei settori manifatturieri dell'Unione Europea. Le applicazioni industriali del P₄ sono molto variegata, includendo preparazioni alimentari, produzione di detersivi, preparazione di additivi plastici, prodotti per trattamenti superficiali e estrazioni chimiche, produzione di prodotti per l'agricoltura, quali erbicidi e pesticidi, produzione di additivi lubrificanti. È inoltre utilizzato nei LED come fosforo di Gallio (GaP) e fosforo di Indio (InP). Il fosforo è usato anche in medicina: i sali dello ione bisfosfonico, (O₃P—O—PO₃)⁴⁻, sono adoperati per la cura di malattie ossee mentre il ³²P (tempo di dimezzamento 14 giorni) è usato in radioterapia. Un cenno particolare va agli usi in metallurgia, nella stragrande maggioranza dei casi la presenza di fosforo dei metalli risulta dannosa, quando si producono determinati tipi di acciaio, per esempio, viene effettuata un'operazione denominata "defosforazione" perché la presenza del fosforo li rende più fragili, attraverso la defosforazione si contiene la presenza dell'elemento entro il limite normativo dello 0,05%. Negli acciai da bulloneria le percentuali risultano superiori perché si vuole aumentare la loro lavorabilità. Altri usi in metallurgia sono quelli come disossidante e come componente di leghe madri in cui le percentuali di tale metalloide variano dal 5 al 20% circa.

³⁷

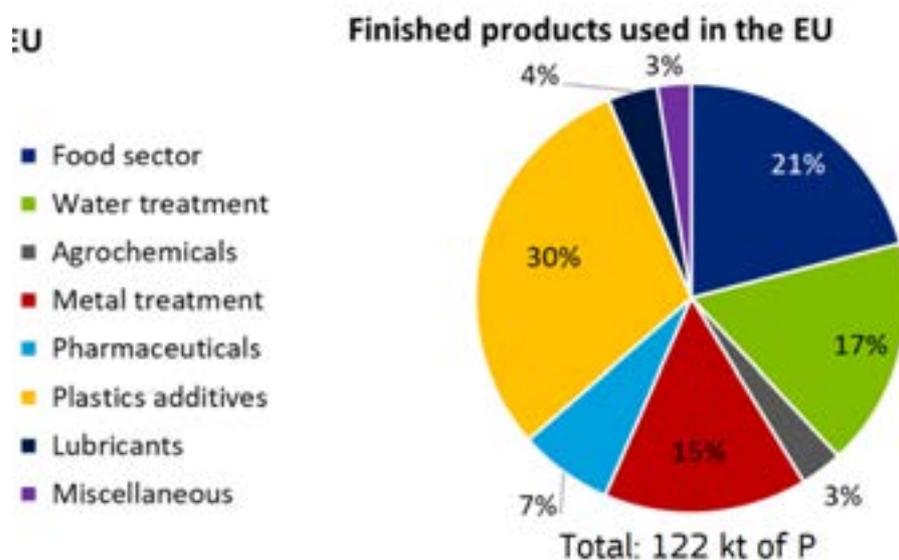
<https://phosphorusplatform.eu/images/download/ESPP%20conference%20Phosphorus%20stewardship/Schipper-ESPP-1-12-16.pdf>

Figura 16 Ripartizione percentuale degli usi del P₄ nei settori manifatturieri dell'Unione Europea.



Fonte: de Matos et al. (2021).

Figura 17 Ripartizione percentuale dei prodotti finiti derivanti dal P₄ nei settori manifatturieri dell'Unione Europea.



Fonte: de Matos et al. (2021).

4.2 Materiali e sostanze utilizzate nelle applicazioni del fosforo

In Tabella 12 si riporta un quadro conoscitivo dei principali materiali o sostanze utilizzate nelle diverse applicazioni del fosforo. Tale tabella costituisce un utile strumento per ricostruire i flussi di fosforo nel nostro Paese, ovvero l'import, l'export e le perdite.

Tabella 12. Materiali o sostanze intermedie utilizzate nelle diverse applicazioni del fosforo.

Prodotti	Tipo di materiali o sostanze utilizzate
Produzione integratori per mangimi	<ul style="list-style-type: none"> - Fosfato dicalcico - Acido fosforico e acidi polifosforici - Polifosfati (escl. trifosfato di sodio) - Fosfati e idrogenofosfati di calcio - Fosfati e idrogenofosfati di magnesio - Fosfati e idrogenofosfati di sodio - Fosfati e idrogenofosfati di potassio - Diamido fosfato
Produzione ceramiche	<ul style="list-style-type: none"> - Fosfati di calcio, fosfati alluminio-calcici e crete fosfatiche, naturali (non macinati) - Fosfati di calcio, fosfati alluminio-calcici e crete fosfatiche, naturali (macinati)
Produzione fertilizzanti	<ul style="list-style-type: none"> - Acido fosforico e acidi polifosforici - Fosfato dicalcico - Ossicloruro di fosforo - Pentasolfuro di fosforo - Trifosfato di sodio - Acido fosforoso - Perfosfati con P₂O₅ pari o superiore a 35% - Concimi chimici fosfatici escl. Perfosfati - Fosfato monoammonico, anche in miscuglio con l'idrogenoortofosfato di diammonio (fosfato diammonico), escl. quello presentato in tavolette o forme simili o in imballaggi di peso lordo ≤ 10 kg) - Concimi, minerali o chimici, contenenti nitrati e fosfati, escluso fosfato monoammonico e diammonico - Concimi NPK, NP o PK, vari formati
Produzione ritardanti di fiamma e sostanze ignifughe, sostanze stabilizzatrici per produzione di plastiche (antiossidanti e ritardanti di fiamma)	<ul style="list-style-type: none"> - Ipofosfiti e fosfiti organici - Fosforati - Acido fosforico e acidi polifosforici - Fosfinossidi organici - Fosfonati organici - Fosfati organici - Fosfinati - Fosforo rosso - Acido fosforoso
Estinguenti di fiamma	<ul style="list-style-type: none"> - Fosforo bianco - Fosfati - Fosfonati - Fosfinossidi
Produzione additivi alimentari (coloranti, conservanti, emulsionanti, ecc..)	<ul style="list-style-type: none"> - Fosfato dicalcico - Acido fosforico e acidi polifosforici - Polifosfati (escl. trifosfato di sodio) - Fosfati e idrogenofosfati di calcio - Fosfati e idrogenofosfati di magnesio - Fosfati e idrogenofosfati di sodio - Fosfati e idrogenofosfati di potassio

Prodotti	Tipo di materiali o sostanze utilizzate
	- Diamido fosfato
Produzione detergenti	- Fosfati organici (esteri fosforici)
Produzione cemento, malte e lastre di cartongesso	- Ossidi di fosforo - Acido amminofosfonico - Acido polifosfonico - Esteri fosforici
Produzione carne lavorata	- Fosfato dicalcico - Acido fosforico e acidi polifosforici - Polifosfati (escl. trifosfato di sodio) - Fosfati e idrogenofosfati di magnesio - Fosfati e idrogenofosfati di calcio - Fosfati e idrogenofosfati di sodio - Fosfati e idrogenofosfati di potassio
Lavorazione pesce	- Fosfati
Lavorazione patate	- Fosfato dicalcico - Acido fosforico e acidi polifosforici - Polifosfati (escl. trifosfato di sodio) - Fosfati e idrogenofosfati di magnesio - Fosfati e idrogenofosfati di calcio - Fosfati e idrogenofosfati di sodio - Fosfati e idrogenofosfati di potassio
Trattamento acque	- Acido fosforoso
Antiagglomeranti per alimentari	- Fosfato d'ossa
Trattamento delle pelli	- Fosfati organici (esteri fosforici)
Allevamento	- Fosfato dicalcico - Acido fosforico - Polifosfati (escl. trifosfato di sodio) - Fosfati e idrogenofosfati di magnesio - Fosfati e idrogenofosfati di calcio - Fosfati e idrogenofosfati di sodio - Fosfati e idrogenofosfati di potassio
Produzione dentifrici	- Fosfato dicalcico
Produzione pastiglie detergenti	- Fosfati organici (esteri fosforici acidi)
Processi di disidratazione in chimica organica	- Anidride fosforica P ₂ O ₅
Produzione additivi per asfalto	- Acido fosforico e acidi polifosforici
Produzione tensioattivi	- Fosfati organici (esteri fosforici a catena lunga fino a C14, esteri acidi grassi)
Produzione inibitori di corrosione e agenti ritardanti	- Fosfiti organici - Fosfonati a catena lunga
Produzione detersivi industriali	- Fosfati organici (esteri fosforici a catena lunga fino a C14, esteri acidi grassi)
Agenti antiISTATICi	- Fosfati organici (esteri fosforici)
Agenti antischiuma (tensioattivi)	- Fosfati a catena lunga - Fosfonati
Produzione di additivi per facilitare il galleggiamento di sostanze (tensioattivi)	- Fosfati a catena lunga
Produzione insetticidi e pesticidi in genere	- Fosfati e fosfonati organici - Paration ISO e parationmetile ISO metileparation - Fosfamidon ISO, Monocrotophos ISO, Fluoroacetamide ISO - Fosforo rosso - Solfuri di fosforo
Additivi per olii idraulici	- Solfuri di fosforo

Prodotti	Tipo di materiali o sostanze utilizzate
	- Fosfiti organici
Produzione cosmetici	- Fosfati organici (esteri fosforici acidi e non) - Fosforati
Clorurazione	- Tribromuro di fosforo - Fosforo rosso
Produzione di farmaci	- Tribromuro di fosforo
Produzione di elettroliti per batterie	- Fosfati inorganici (derivati dell'acido fosforico)
Produzione di esplosivi	- Fosforo bianco
Produzione di fiammiferi e fuochi artificiali	- Fosforo rosso
Produzione di semiconduttori (drogaggio)	- Fosforo rosso
Produzione lampade a LED bianchi	- Fosforo rosso
Produzione vetri speciali per lampade al sodio	- Fosforo rosso
Produzione acciai e bronzi speciali	- Fosforo rosso
Produzione di abrasivi e sostanze lucidanti	- Fosfato dicalcico
Produzione di protesi	- Fosfato dicalcico
Solventi a base di Fosforo	- Fosfati organici (tributil fosfato, triortocresilfosfato, trietilfosfato, trimetilfosfato, trifenilfosfato)
Polimeri a base di Fosforo	- Poliorganofosfazene
Produzione lampade a incandescenza	- Fosforo rosso
Produzione di materie plastiche	- Fosfati organici (esteri fosforici acidi) - Fosfato di triammonio - Fosfati di trisodio - Altri fosfati - Trifosfato di sodio - Fosfuri - Fosfato di tris(2,3 dibromopropile) - Esteri tiofosforici e loro sali e loro derivati, escluso parathion - Esteri di fosfito e loro sali, loro derivati alogenati. solfonati, nitrati e nitrosi - Fosfito di trietile - Fosfito di trimetile - Fosfito di dietile - Fosfito di dimetile - Tricloruro di fosforo - Pentacloruro di fosforo - Idrogenoortofosfato di diammonio - Metilfosfonato di dimetile - Dimetil propilfosfonato - Dietil etilfosfonato - Sodio 3-(triidrossisilil)propil metilfosfonato - 2,4,6-tripropil-1,3,5,2,4,6-triossatrifosfinan 2,4,6-triossido - (5-etil-2-metil-2-ossido-1,3,2-diossafosfinan-5-il)metil metil metilfosfonato - Bis[(5-etil-2-metil-2-ossido-1,3,2-diossafosfinan-5-il)metil]metilfosfonato - Sale di acido metilfosfonico ed (amminoimminometil)urea (1 : 1) - Difluoruro metilfosfonico - Dicloruro metilfosfonico - Acido etidronico (acido 1-idrossietano 1,1-difosfonico) e suoi sali
Altri composti chimici a base di Fosforo utilizzati in ambito industriale	

Prodotti	Tipo di materiali o sostanze utilizzate
	<ul style="list-style-type: none"> - Acido (nitrilotrimetanedil)trifosfonico, - Acido {[etan-1,2-Diilbis[nitrilobis(metilen)]} tetrachisfosfonico, - Acido {[2-[bis(fosfonometil)amino]etil]amino)metil]bifosfonico, - Acido {[esan-1,6-Diilbis[nitrilobis(metilene)]}tetrachisfosfonico, - Acidi inorganici (escl. cloruro di idrogeno (acido cloridrico), acido clorosolforico, acido solforico, oleum, acido nitrico, acidi solfonitrici, acidi borici, fluoruro d'idrogeno (acido fluoridrico), bromuro di idrogeno (acido bromidrico) e cianuro di idrogeno (acido cianidrico)) - Composti chimici separati definiti derivati organofosforici, n.n.a.

Fonte: Propria Elaborazione

4.2.1 I dati economici dei settori connessi alle applicazioni di fosforo

I principali macrosettori nei quali viene utilizzato il fosforo richiamati nei precedenti paragrafi sono riportati in Tabella 13 con il rispettivo valore aggiunto³⁸ a livello nazionale e a livello europeo. Appare evidente che i settori delle industrie alimentari e delle componenti elettroniche producano più alti livelli di valore aggiunto sia per il contesto nazionale che europeo. A livello europeo il valore aggiunto al 2020 è aumentato rispetto al 2011, in particolare l'incremento maggiore si è registrato per le componenti elettroniche (+69%). Al contrario, a livello nazionale il valore aggiunto non risulta crescente in tutte le applicazioni nel periodo temporale considerato. Infatti, le componenti elettroniche, che a livello europeo fanno registrare l'incremento maggiore, a livello italiano sono in diminuzione quasi del 10%.

Per analizzare in modo più approfondito questo fenomeno la Figura 18 illustra la variazione percentuale anno su anno del valore aggiunto, sia a livello europeo che a livello italiano. Analizzando le singole applicazioni, si nota come gli additivi alimentari abbiano il minor numero di oscillazioni per quanto riguarda il valore aggiunto in entrambi i contesti geografici. Negli altri settori, al contrario, si registrano delle oscillazioni maggiori che riguardano in particolare fertilizzanti e componenti elettroniche. Nel caso dei fertilizzanti le oscillazioni sono molto simili fra la dimensione europea e quella italiana con due picchi positivi (2014 e 2019) e uno negativo (2018). Nonostante il valore aggiunto dal 2011 al 2020 sia complessivamente aumentato, lungo l'intervallo temporale analizzato sono presenti variazioni annuali negative come, ad esempio, accade nel biennio 2017-2018. Per le componenti elettroniche, allo stesso modo, l'andamento fra le due dimensioni geografiche è abbastanza simile ad eccezione del 2017 quando, da un lato, a livello europeo si ha un picco negativo mentre, dall'altro, a livello italiano, si ha un picco positivo. Sulla dimensione nazionale dal 2012 al 2016 il valore aggiunto è sempre diminuito o rimasto pressoché costante, al contrario di quanto è accaduto in Europa dove si è verificato l'incremento maggiore (+40% nel 2015).

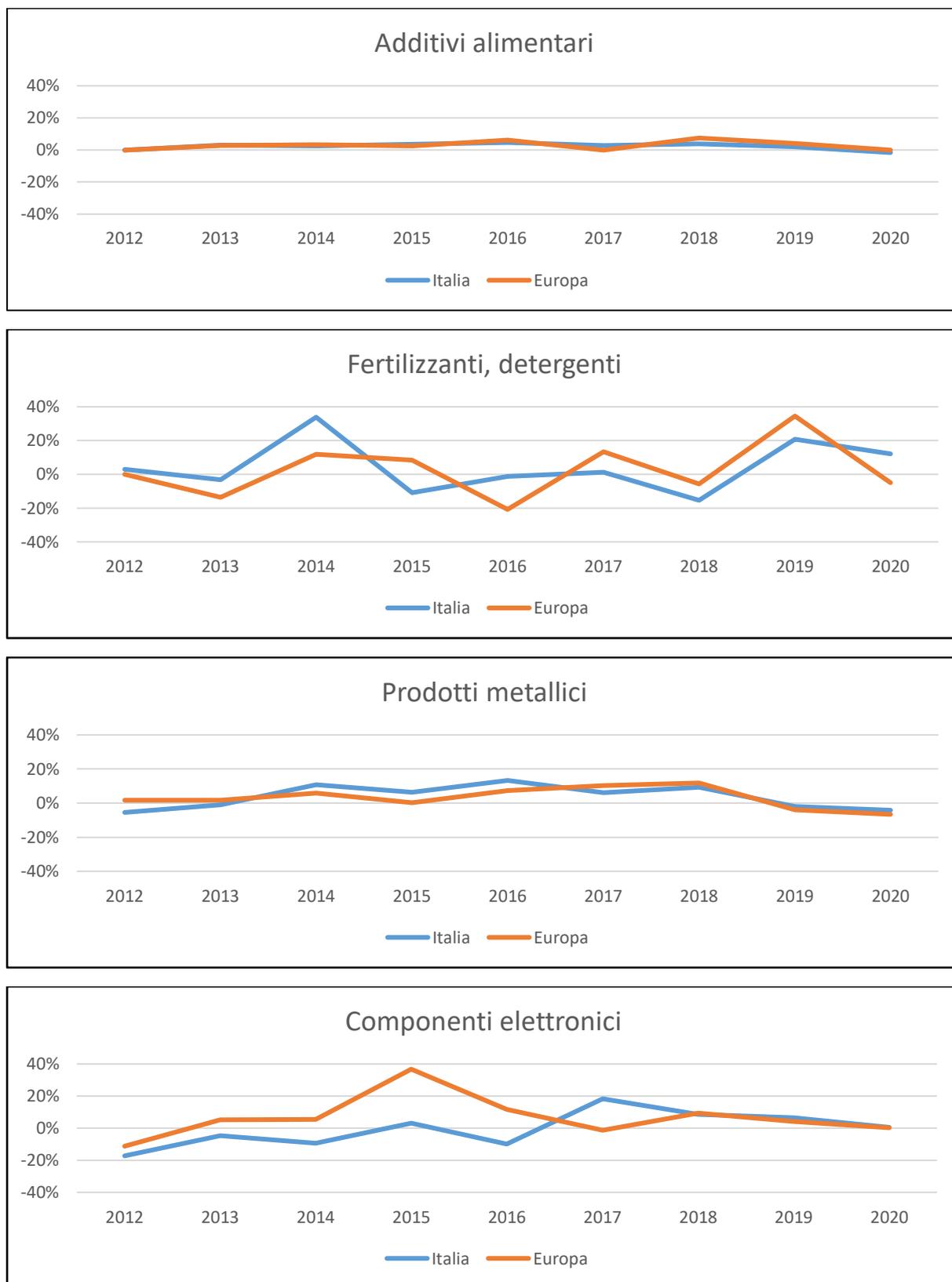
³⁸ Il valore aggiunto è l'aggregato che consente di apprezzare la crescita del sistema economico in termini di nuovi beni e servizi messi a disposizione della comunità per impieghi finali. Risulta della differenza tra il valore della produzione di beni e servizi conseguita dalle singole branche produttive ed il valore dei beni e servizi intermedi dalle stesse consumati (materie prime e ausiliarie impiegate e servizi forniti da altre unità produttive). Corrisponde alla somma delle retribuzioni dei fattori produttivi e degli ammortamenti (Fonte: ISTAT).

Tabella 13. Applicazioni delle rocce fosfatice e del fosforo bianco e valore aggiunto per macrosettore (2011-2020)

Applicazioni fosforo	Codice NACE (rev.2) e Descrizione	Valore aggiunto (mio €) 2011	Valore aggiunto (mio €) 2012	Valore aggiunto (mio €) 2013	Valore aggiunto (mio €) 2014	Valore aggiunto (mio €) 2015	Valore aggiunto (mio €) 2016	Valore aggiunto (mio €) 2017	Valore aggiunto (mio €) 2018	Valore aggiunto (mio €) 2019	Valore aggiunto (mio €) 2020	Delta (2011-2020)
Additivi alimentari	10.xx Tutti i sottogruppi (carne, amidi, latticini, etc.)	18.703,1	18.681,6	19.233,9	19.735,2	20.449,8	21.405,8	22.028,2	22.896,4	23.380,7	23.002,8	22,99%
		147.000,0	147.000,0	151.000,0	156.000,0	160.000,0	170.000,0	170.000,0	182.684,0	190.071,5	190.000,0	29,25%
Fertilizzanti, detergenti	20.15 Fabbricazione di fertilizzanti e composti azotati	251,8	259,0	250,8	335,7	299,1	295,7	299,4	253,4	306,0	342,9	36,18%
		n.d.	5.186,8	4.483,0	5.012,5	5.436,8	4.307,2	4.878,3	4.599,7	6.187,7	5.878,5	n.d.
Prodotti metallici	25.61 Trattamento e rivestimento di metalli	1.647,8	1.557,7	1.541,1	1.705,4	1.814,2	2.055,5	2.182,0	2.383,3	2.338,3	2.238,3	35,84%
		10.000,0	10.177,3	10.359,2	10.976,0	11.000,0	11.800,0	13.000,0	14.536,1	13.965,4	13.043,0	30,43%
Componenti elettronici	26.11 Fabbricazione di componenti elettronici	2.066,4	1.709,5	1.628,2	1.473,4	1.520,1	1.369,6	1.620,0	1.758,6	1.870,8	1.878,8	-9,08%
		12.612,3	11.193,5	11.760,2	12.412,0	16.973,2	18.973,5	18.702,9	20.470,6	21.294,5	21.329,4	69,12%

Fonte: Elaborazione ENEA su dati EUROSTAT - Annual detailed enterprise statistics for industry (NACE Rev. 2, B-E) (last update: 15/03/2023)

Figura 18. Oscillazioni annuali nelle diverse applicazioni del fosforo: a) additivi alimentari; b) fertilizzanti, detergenti; c) prodotti metallici; d) componenti elettronici



Fonte: Elaborazione ENEA su dati EUROSTAT - Annual detailed enterprise statistics for industry (NACE Rev. 2, B-E) (last update: 15/03/2023)

In Tabella 14 sono riportati i principali dati economici dei settori connessi alle principali applicazioni di fosforo relativi all'anno 2020. Si nota come le industrie alimentari rappresentino il settore preponderante in termini assoluti di valore aggiunto, numero di imprese e addetti.

Va sottolineato che i settori delle componenti elettroniche e quello dei fertilizzanti registrano livelli del valore aggiunto per singola impresa molto simili e quasi tre volte maggiori allo stesso dato per additivi alimentari e prodotti metallici. I settori dei fertilizzanti e delle componenti elettroniche risultano molto concentrati rispetto agli altri due per questo ad ogni impresa si associa un alto valore aggiunto. Inoltre, confrontando i settori dei prodotti metallici con quello delle componenti elettroniche si nota come a fronte di una sostanziale parità di addetti impiegati si contrappone la presenza nel primo settore di quasi il quadruplo di imprese.

Tabella 14. Dati economici applicazioni del fosforo per settore

Applicazioni	Settore NACE (4 Cifre)	Valore aggiunto 2020 (mio€)	Incidenza sul totale Italia* (%)	Imprese 2020 (N)	Addetti 2020 (N)	VA/ N. imprese (mio€)
Additivi alimentari	10.xx Tutti i sottogruppi (carne, amidi, latticini, etc.)	23.002,8	1,53%	260.000	4.000.000	88.472,3
Fertilizzanti, detergenti	20.15 Fabbricazione di fertilizzanti e composti azotati	342,9	0,02%	1.509	n.d.	227.236,6
Prodotti metallici, indefiniti	25.61 Trattamento e rivestimento di metalli	2.238,3	0,15%	26.393	257.047	84.806,6
Componenti elettronici	26.11 Fabbricazione di componenti elettronici	1.878,8	0,13%	7.300	221.596	257.369,9

* Valore aggiunto Italia (2020): 1.502.654,9 mio €. Fonte: Elaborazione ENEA su dati EUROSTAT - Annual detailed enterprise statistics for industry (NACE Rev. 2, B-E) (last update: 15/03/2023)

4.2.2 Il potenziale impiego dei materiali recuperati

I processi di recupero del fosforo implementati su scala industriale sono limitati e la maggior parte di essi si basa sulla precipitazione di struvite (Jupp et al., 2021). Nonostante ci siano molti metodi per recuperare il fosforo da reflui zootecnici ed altre matrici organiche, sono necessari ancora numerosi sforzi che vadano ad agire sulle forze trainanti del mercato con l'obiettivo ultimo di incrementare l'impiego del fosforo recuperato (Brownlie et al., 2021).

Per promuovere il riciclo del fosforo sono necessari strumenti economici, normativi e di comunicazione che aiutino l'industria dei fertilizzanti minerali ad aumentare l'impiego del fosforo recuperato, come ad esempio sta accadendo in Paesi quali Svizzera e Germania. La legislazione è un fattore chiave per promuovere il recupero del fosforo da fonti secondarie; fondamentali, in tale ottica, sono gli aspetti legati alla qualifica come rifiuti di tali prodotti.

Tuttavia, non è sufficiente disporre di un quadro normativo favorevole: è necessaria, infatti, anche una spinta economica affinché le tecnologie di recupero vengano implementate in modo più ampio (Jupp et al., 2021). Gli aspetti economici del recupero del fosforo sono spesso deboli a causa di una serie di fattori (economia di scala, complicazioni tecnologiche, etc.), che portano a perdite consistenti di fosforo (attraverso lo smaltimento in discarica, l'impiego del fosforo nei riempitivi di asfalto, etc). Il divieto dello spandimento dei fanghi di depurazione in Svizzera, Pesi Bassi e in alcune parti della Germania ha già contribuito alla creazione di un'infrastruttura in grado di rendere disponibili grandi quantità di ceneri di fanghi di depurazione: tali provvedimenti normativi potrebbero rendere più praticabili molte tecnologie che ad oggi hanno economie marginali. Si fa presente che tali ceneri, essendo un rifiuto in base alla normativa italiana (ed europea), vanno opportunamente gestite attraverso impianti di trattamento e recupero che, ovviamente, necessitano di specifica autorizzazione.

In Tabella 15 sono riportate le tecnologie esistenti a livello italiano per il recupero del fosforo dalle diverse tipologie di matrici presentate nel paragrafo 2.2.1³⁹. L'obiettivo è quello di individuare l'impatto che tali tecnologie avrebbero sul settore di riferimento, qualora venissero implementate.

Tabella 15. Ricognizione delle tecnologie italiane implementate

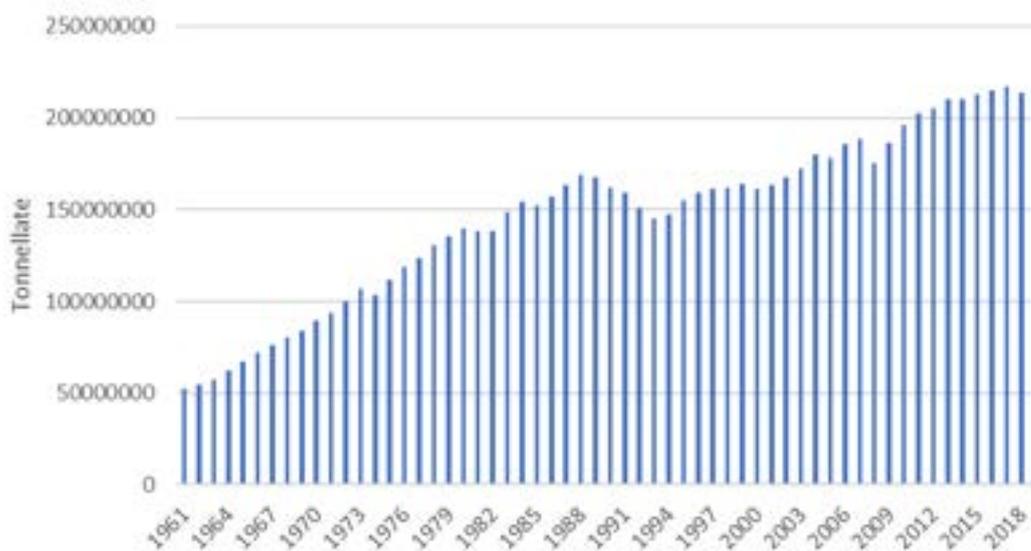
Organizzazione	Descrizione tecnologia	TRL*	Matrice coinvolta	Impatto (sezione ATECO)
<p>La tabella sarà sviluppata per tenere in considerazione i risultati pervenuti dal GdL "Tecnologie e Buone Pratiche"</p>				

4.3 Consumi

Nel medio periodo, alcuni fattori indicano un probabile aumento dei consumi e della domanda, in continuità con le ultime decadi, legato per lo più alla domanda di fosforo per l'agricoltura. È difficile fare previsioni sui consumi futuri di fosforo perché dipendono da un insieme di fattori, tra cui la crescita demografica, l'evoluzione delle pratiche agricole, la disponibilità delle risorse di fosforo e le politiche ambientali.

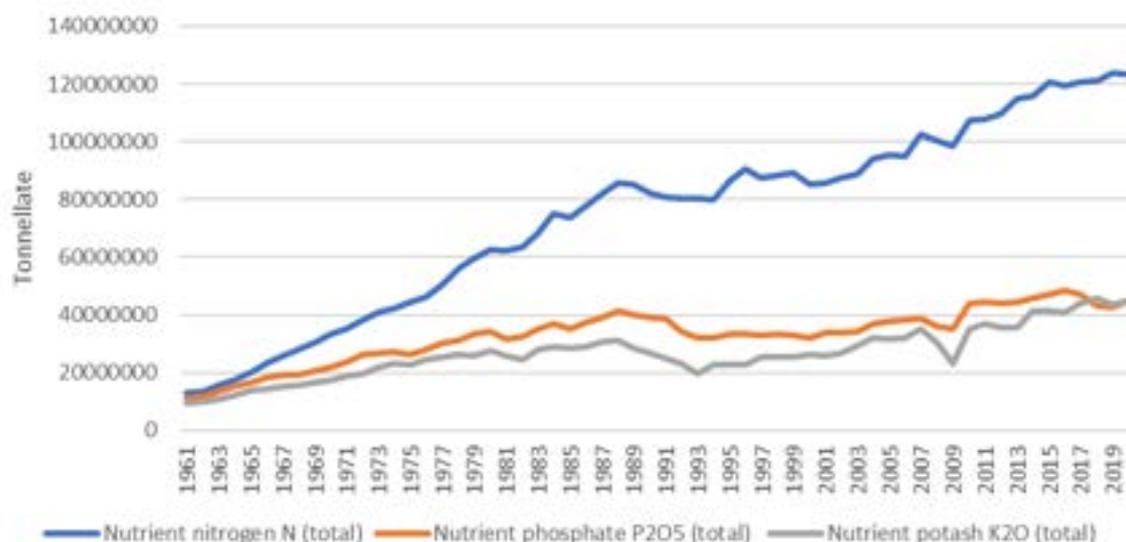
La Figura 19 e la Figura 20 mostrano rispettivamente la crescita del consumo e della produzione di fertilizzanti a livello globale negli ultimi 60 anni.

Figura 19 Consumo di fertilizzanti (in tonnellate) a livello globale nell'arco temporale 1961-2021.



Fonte: Elaborazione ENEA da dati da dati FAOSTAT (Fertilizers by Nutrient dataset).

Figura 20 Produzione di N, P, K fertilizzanti (in tonnellate) a livello globale nell'arco temporale 1961-2021.

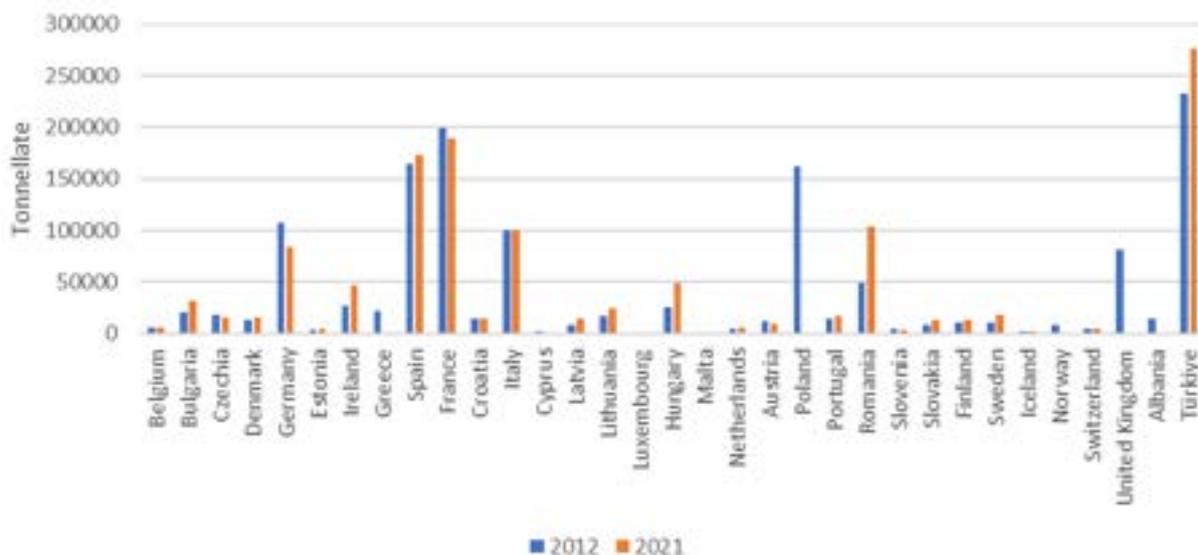


Fonte: Elaborazione ENEA da dati da dati FAOSTAT (Fertilizers by Nutrient dataset).

4.3.1 FOCUS Consumi Fertilizzanti

La Figura 21 mostra i consumi di fertilizzante fosfatico nel 27 paesi europei nell'anno 2012 e 2021.

Figura 21 Consumi di fertilizzante fosfatico (in tonnellate) nei paesi europei (EU27) nell'anno 2012 e 2021.

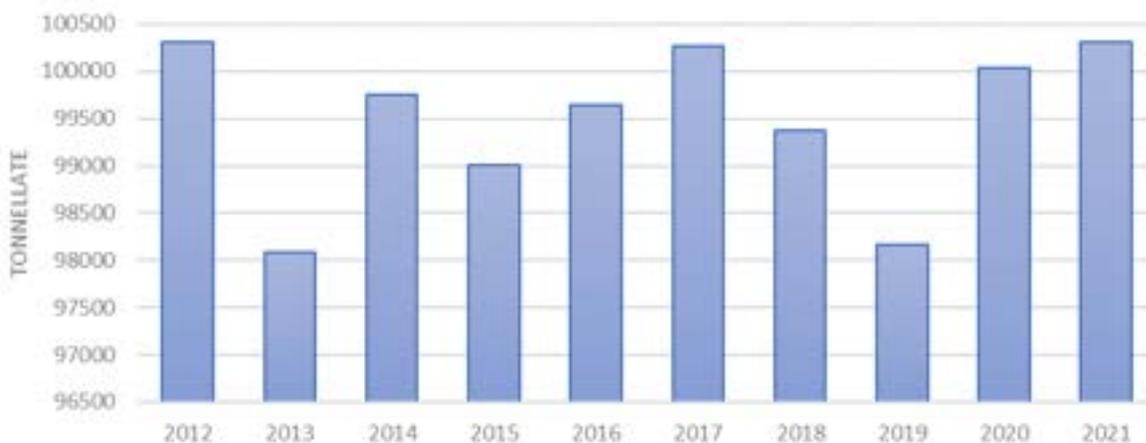


Fonte: Elaborazione ENEA da dati Eurostat (dataset: AEI_FM_USEFERT).

Tra il 2012 ed il 2021, l'uso dei fertilizzanti a base di fosforo ha subito un aumento considerevole in alcuni Stati Membri, tra cui l'Ungheria e la Bulgaria. Questi aumenti potrebbero essere dovuti all'adeguamento di questi Paesi alla media di fertilizzanti applicati per ettaro nel resto dei Paesi Membri. Anche se a livello europeo i consumi di fertilizzanti risultano aumentati, si registrano alcuni Paesi dove questi sono diminuiti (per esempio Svizzera, Germania Francia, Slovenia...).

Negli ultimi 10 anni, in Italia, il consumo di fertilizzante fosfatico, come mostrato dalla Figura 22 è stato invece costante.

Figura 22 Consumi di fertilizzante fosfatico (in tonnellate) in Italia nell'arco temporale 2012-2021.



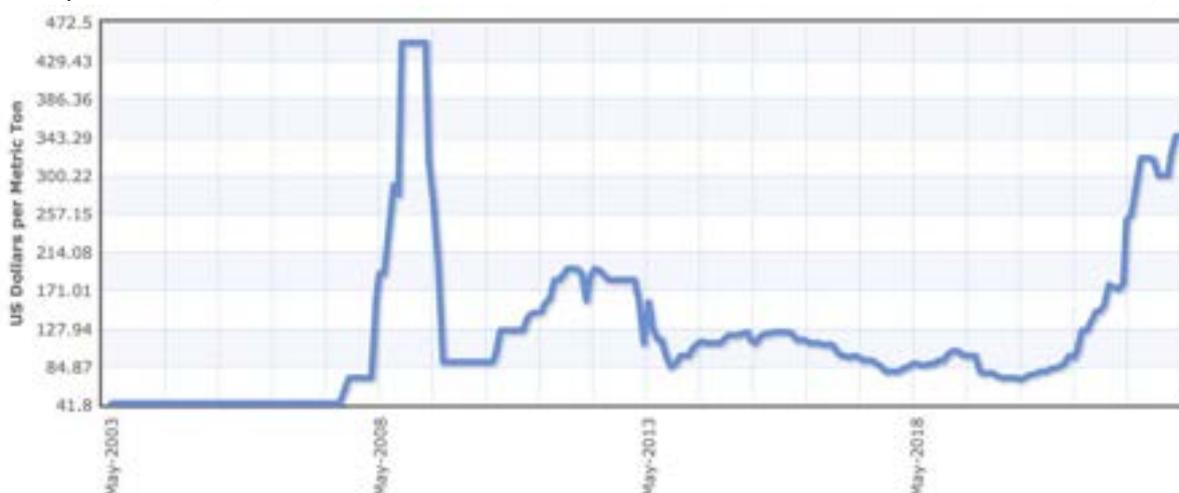
Fonte: Elaborazione ENEA da dati Eurostat (dataset: AEI_FM_USEFERT).

4.4 I prezzi

La concentrazione della roccia fosfatica in pochi siti nel mondo, insieme al costante aumento della domanda, all'aumento delle tariffe per l'export di alcuni stati e alla instabile situazione politica di alcuni paesi produttori porta a forti volatilità nel prezzo delle rocce fosfatice. Nel 2008, prevalentemente a causa dell'accisa sull'esportazione del 1000% imposta dall'Egitto e del dazio del 110 – 120% imposto dalla Cina, il prezzo della roccia fosfatica è duplicato in meno di un anno. Al picco del 2008 è seguito un crollo durante la recessione globale, benché i prezzi siano nuovamente aumentati dall'inizio del 2009 fino a una nuova discesa al 2013 per poi mantenersi costanti sino al 2021. A partire dal 2021 i prezzi hanno ripreso ad aumentare in modo simile a quanto accaduto nel 2008 subendo un'impennata ancora più decisa nel 2022 anche come conseguenza della difficile situazione geopolitica che coinvolge Russia e Ucraina. Va precisato che nel caso si instaurino fra diversi soggetti economici percorsi di simbiosi industriale i prezzi di mercato potrebbero variare, avvicinandosi anche allo zero (es. recupero agricolo dei fanghi di depurazione).

Attualmente il prezzo della roccia fosfatica 70% BPL⁴⁰ proveniente dal Marocco si attesta su valori di circa 345 USD/ton FOB (Free On Board), rispetto ai 75 - 100 USD/ton del 2019 e dei 45 USD/ton del 2006 (Figura 23).

Figura 23. Variazione del prezzo della roccia fosfatica 70% BPL proveniente dal Marocco. US Dollari/ton. Periodo 2003 - 2023



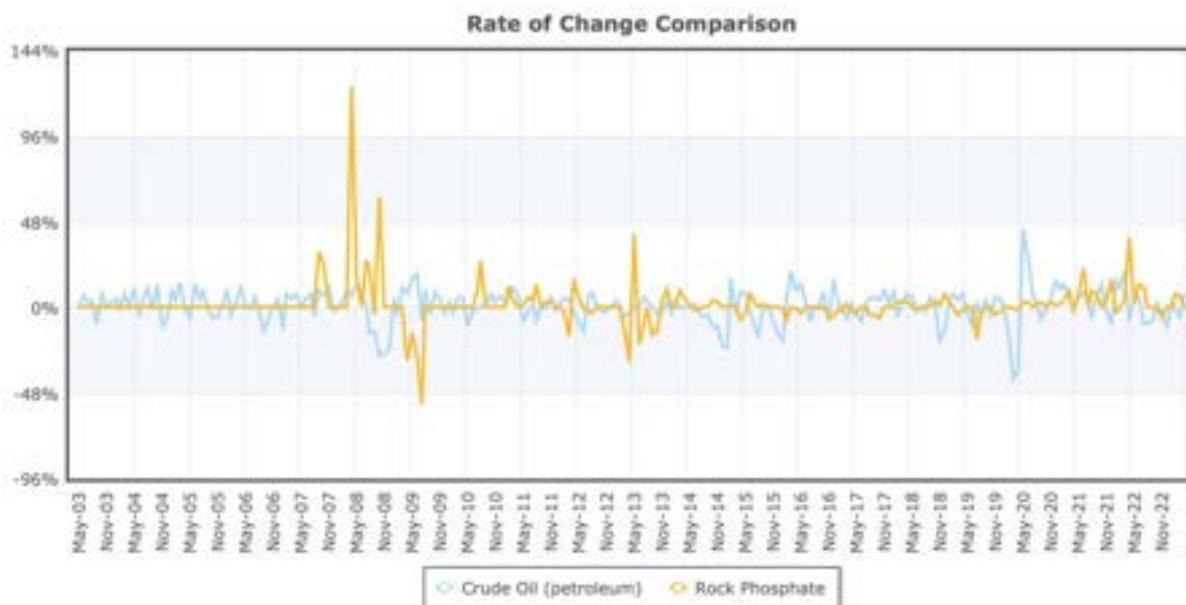
Fonte: www.indexmundi.com⁴¹

Volendo confrontare la variabilità dei prezzi della roccia fosfatica con altre fonti non rinnovabili, si nota come il fosforo abbia subito variazioni anche più critiche del petrolio greggio (Figura 24Figura).

⁴⁰ 70% BPL equivalente a 32% P₂O₅, e a 14% P.

⁴¹ <https://www.indexmundi.com/commodities/?commodity=rock-phosphate&months=240> (accesso 21 giugno 2023)

Figura 24. Confronto tra variazioni del prezzo delle rocce fosfatice e del petrolio. Periodo 2003 - 2023



Fonte: www.indexmundi.com⁴²

L'insieme della scarsità di risorse locali e la variabilità dei prezzi ha determinato l'azione europea e degli Stati membri verso il recupero del fosforo da reflui, rifiuti e scarti.

4.4.1 FOCUS Prezzi Fertilizzanti

Il prezzo dei fertilizzanti sul mercato internazionale è molto variabile, in funzione della tipologia di fertilizzante (azotati, fosfatico e potassico) e di tutte le logiche di mercato ad esso connesse, quali scarsità delle risorse, incertezza sulla produzione agricola, tensioni commerciali, concorrenza, oltre che politiche ambientali.

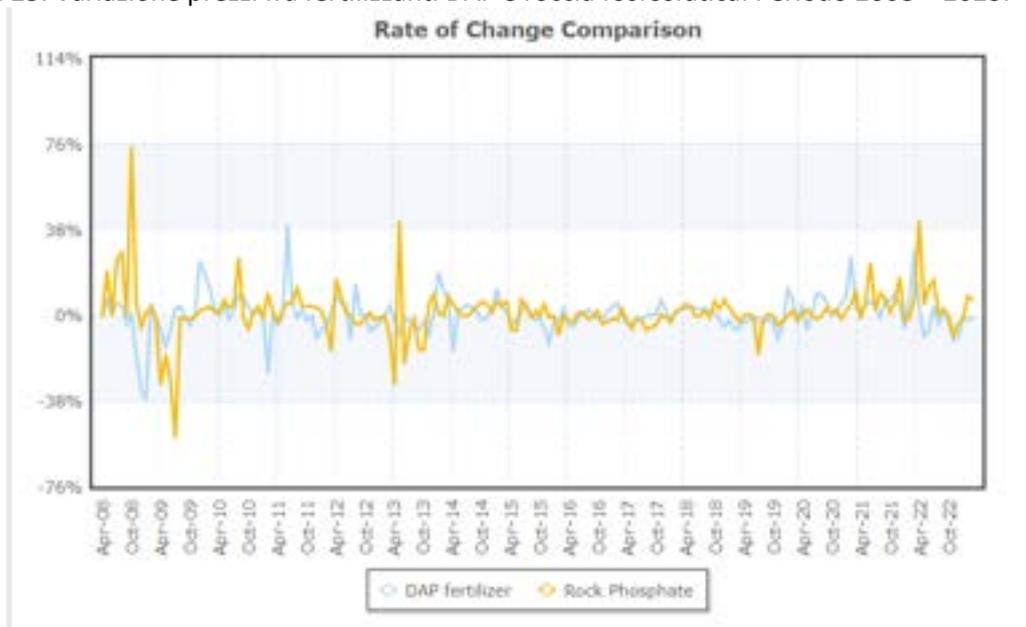
Nello specifico, focalizzandosi sui fertilizzanti fosfatici, i prodotti che maggiormente caratterizzano questa classe sono:

- il Perfosfato (chiamato comunemente SSP - single super phosphate - o GSSP, granular single super phosphate, o 19/21 dove 19% è la %P₂O₅ solubile in acido citrico e 21% è la % di fosforo totale);
- il Superfosfato Triplo o supersolfato concentrato (chiamato comunemente TSP - Triple Super Phosphate – o GTSP – granular Triple Super Phosphate – con un contenuto di P₂O₅ del 44 – 48%);
- il Diammonio Fosfato (chiamato comunemente DAP o 18-46, dove 18% è il contenuto in N e 46% è il contenuto di P₂O₅).

La Figura mostra la variabilità dei prezzi dei fertilizzanti DAP e della roccia fosfatica nel periodo 2008 - 2023.

⁴²<https://www.indexmundi.com/commodities/?commodity=rock-phosphate&months=180¤cy=eur&commodity=crude-oil> (accesso 21 giugno 2023)

Figura 25. Variazione prezzi fra fertilizzanti DAP e roccia fosforica. Periodo 2008 – 2023.



Description: Monthly comparison between the rate of change in the price of Rock Phosphate versus the rate of change in the price of DAP fertilizer

Fonte: www.indexmundi.com⁴³

Mentre in prima ipotesi si è sempre pensato che il prezzo dei fertilizzanti fosfatici fosse legato ai cereali (loro maggior campo di utilizzo), i trend di questi ultimi anni hanno dimostrato che, a fronte di un aumento dei prezzi del grano, i prezzi del DAP e del TSP continuano a diminuire. Il 2019 è caratterizzato da una chiara tendenza negativa a causa della forte concorrenza tra paesi produttori di fertilizzanti.

⁴³<https://www.indexmundi.com/commodities/?commodity=rock-phosphate&months=180¤cy=eur&commodity=dap-fertilizer> (accesso 21 giugno 2023)

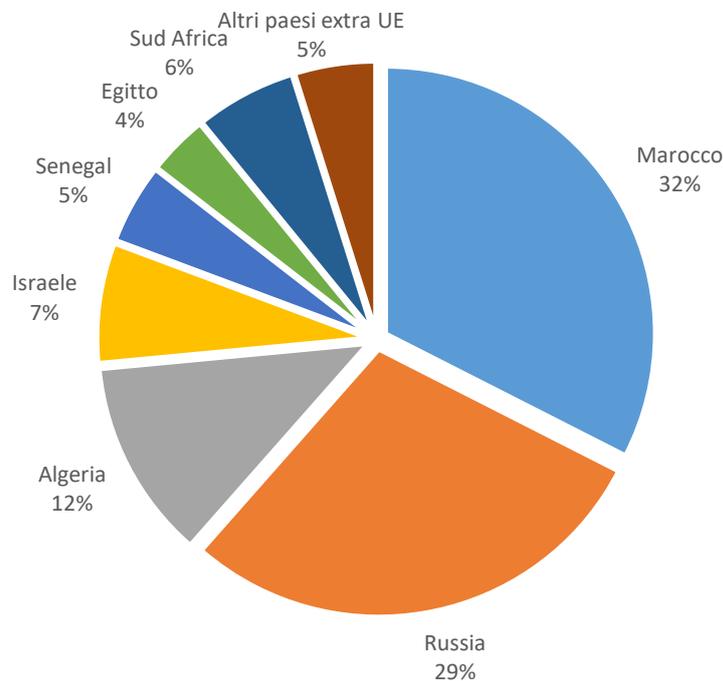
5 I flussi di fosforo

5.1 I paesi esportatori

Come meglio dettagliato nel capitolo 4, ad oggi, l'Europa è fortemente dipendente dalle importazioni sia di roccia fosfatica, prevalentemente utilizzata nel settore agro-alimentare, oltre che di fosforo bianco, utilizzato in diverse applicazioni industriali. Con circa 5,5 milioni di tonnellate all'anno di fosfato di calcio naturale, fosfati di calcio, fosfati di alluminio, gesso naturale e fosfatico importate nel 2020 l'Europa aveva un tasso di dipendenza dalle importazioni di roccia fosfatica dell'83%. L'esistenza di una produzione interna dell'UE di rocce fosfatice, ed in particolare dalla Finlandia, contribuisce a ridurre il tasso di dipendenza dalle importazioni dalle importazioni di rocce fosfatice (Commissione Europea, 2023).

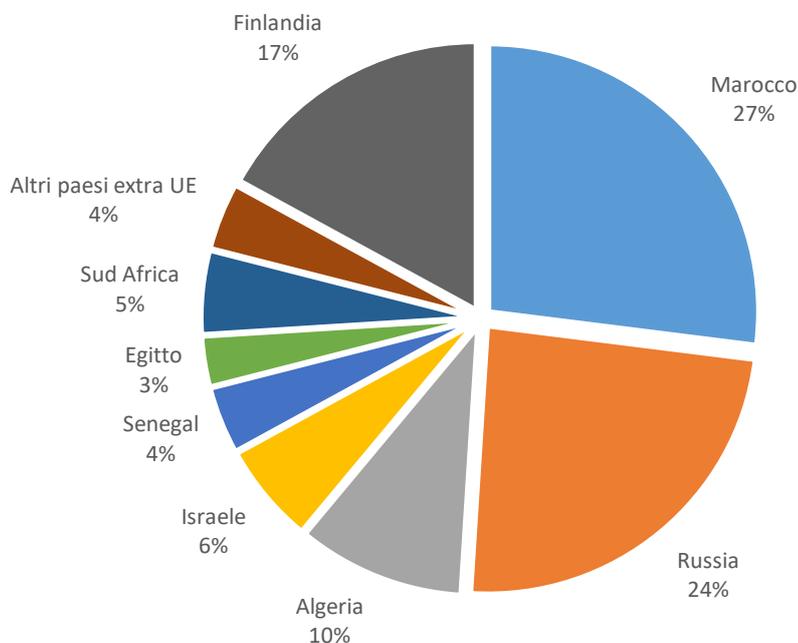
Come riportato nel recente report della Commissione Europea (2023), la Cina è il paese più influente in termini di approvvigionamento mondiale di rocce. Il Marocco risulta essere il principale esportatore di rocce fosfatice verso l'Unione Europea (32% del totale importato), seguito da Russia (29%), Algeria (12%) e Israele (7%) (Figura 26). Il principale fornitore interno di roccia fosfatica è la Finlandia, che approvvigiona l'Unione Europea con il 17% del suo fabbisogno (Figura 27).

Figura 26. Importazione UE di roccia fosfatica media periodo 2016-2020



Fonte: Elaborazione ENEA su dati di European Commission (2023) Study on the Critical Raw Materials for the EU 2023. Final Report

Figura 27. Approvvigionamento UE (produzione nazionale + importazioni) di roccia fosfatica, media periodo 2016-2020



Fonte: European Commission (2023) Study on the Critical Raw Materials for the EU 2023. Final Report

La Tabella 16 riporta lo stralcio dall'elenco delle materie prime critiche per l'UE con i principali dati relativi alla roccia fosfatica e al fosforo elementare citati nell'ultimo report della Commissione. La Figura 28 illustra l'andamento temporale dell'approvvigionamento dell'UE di roccia fosfatica, mentre la Figura 29 evidenzia l'andamento temporale del flusso di importazioni di roccia fosfatica. In Figura 30 viene importata la media di importazioni di fosforo bianco per il solo periodo 2010-2014 (ultimo dato disponibile).

Tabella 16. Stralcio dell'elenco delle materie prime critiche per l'UE

Materie Prime	Principali produttori mondiali (media 2016– 2020)	Principali paesi di approvvigionamento dell'UE ¹ (media 2016– 2020)	Principali paesi di provenienza delle importazioni dell'UE (media 2016-2020)	Tasso di dipendenza dalle importazioni ² (2023)	EI (2023) ³	SR – Supply Risk (2023) ⁴	SI – Substitution Index (RI) ⁵ (2023)	SI – Substitution Index (EI) ⁵ (2023)	Tasso di riciclo delle materie a fine vita ⁶
Roccia fosfatica	Cina (44%) Marocco (14%) Stati Uniti (10%) Russia (7%)	Marocco (27%) Russia (24%) Finlandia (17%) Algeria (10%)	Marocco (33%) Russia (29%) Algeria (11%)	82%	6,4	1	0,99	0,96	17%
Fosforo	Cina (79%) Stati Uniti (11%) Kazakhstan (6%) Vietnam (5%)	Kazakhstan (62%) Vietnam (22%) Cina (13)	Kazakhstan (62%) Vietnam (22%) Cina (13)	100%	4,7	3,3	0,98	0,95	0%

¹ Sulla base della produzione interna e dell'importazione (escluse le esportazioni)

² Il tasso di dipendenza è calcolato come segue: $IR = (importazioni - esportazioni) / (produzione interna + importazioni - esportazioni)$

³ EI: Economic Importance, Importanza economica

⁴ SR: Supply Risk, Rischio di approvvigionamento

⁵ SI: Substitution Index, Indice di sostituzione. Misura la difficoltà di sostituire la materia prima calcolata e ponderata in tutte le applicazioni ed è calcolato separatamente per i due parametri EI e SR. I valori sono compresi tra 0 e 1, dove il numero 1 indica la meno sostituibile

⁷ Tasso di riciclo a fine vita (End of Life Recycling Input Rate, EoL-RIR): rappresenta la percentuale di domanda globale che può essere soddisfatta mediante materie prime secondarie.

Fonte: European Commission (2023) Study on the Critical Raw Materials for the EU 2023. Final Report

Figura 28. Approvvigionamento UE (produzione nazionale + importazioni) di roccia fosfatica, andamento temporale

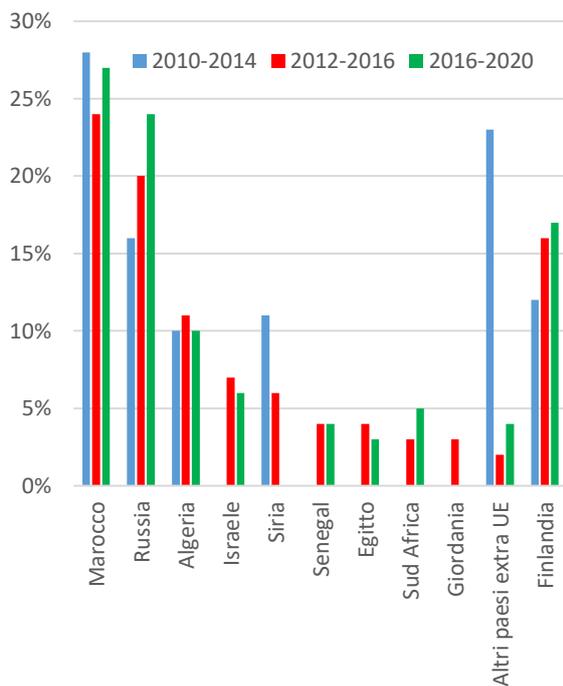
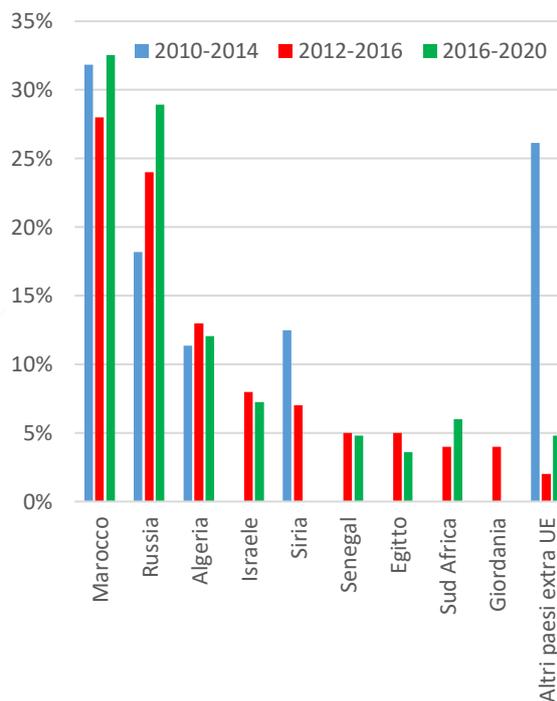
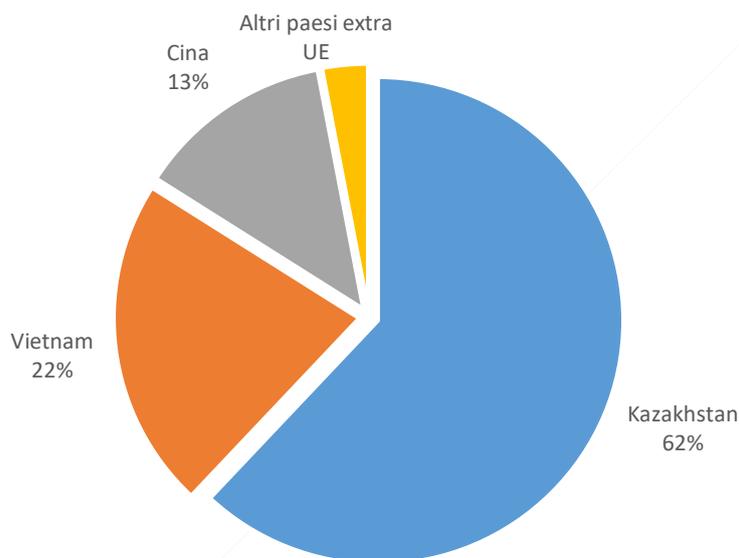


Figura 29. Importazione UE di roccia fosfatica, andamento temporale



Fonte: European Commission (2023) Study on the Critical Raw Materials for the EU 2023. Final Report.

Figura 30. Importazioni UE di fosforo bianco, media periodo 2010-2014

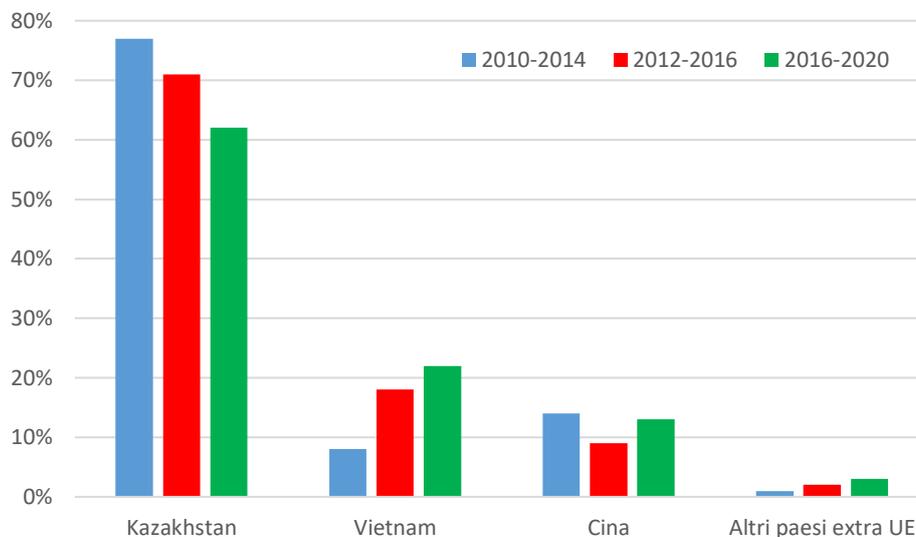


Fonte: European Commission (2023) Study on the Critical Raw Materials for the EU 2023. Final Report.

I principali Paesi esportatori di fosforo bianco verso l'UE rimangono pressoché costanti negli andamenti temporali considerati. Si osserva (Figura 31) una riduzione delle forniture dal Kazakhstan

(dal 77% a 62%) e un incremento di quelle provenienti dal Vietnam (da 8% a 22%), che ha superato la Cina (13% nel quadriennio 2016-2020).

Figura 31. Importazioni UE di fosforo bianco, andamento temporale



Fonte: European Commission (2023) Study on the Critical Raw Materials for the EU 2023. Final Report

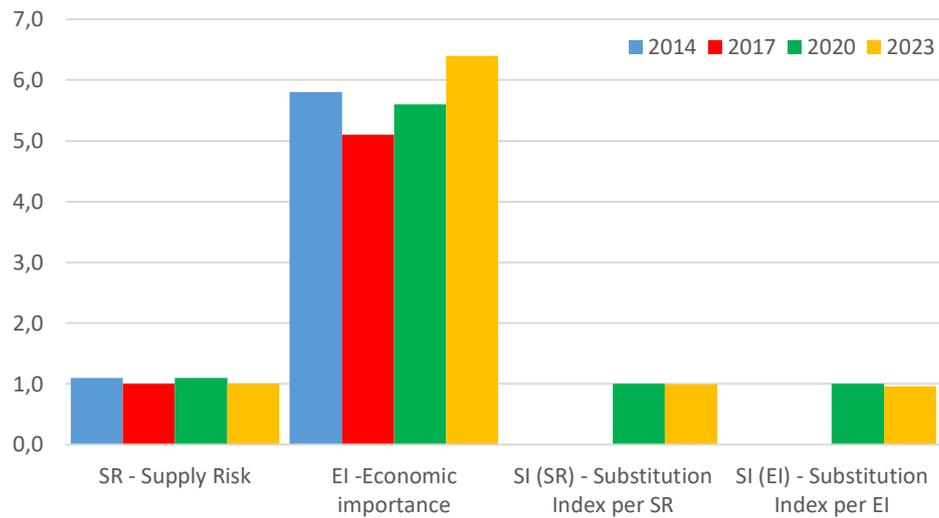
Dall'analisi dei dati inoltre emerge che per la roccia fosfatica (Figura 32):

- il rischio di approvvigionamento rimane pressoché invariato dal 2014 al 2020, intorno ad un valore pari a 1;
- l'importanza economica, dopo una riduzione nel 2017, riprende ad aumentare fino al valore di 6,4 del 2023;
- l'indice di sostituzione passa dal valore di 1 nel 2020 a 0,96 nel 2023 relativamente all'EI. Rimane pressoché invariato per il rischio di approvvigionamento.

Per quanto riguarda invece il fosforo bianco (Figura 33):

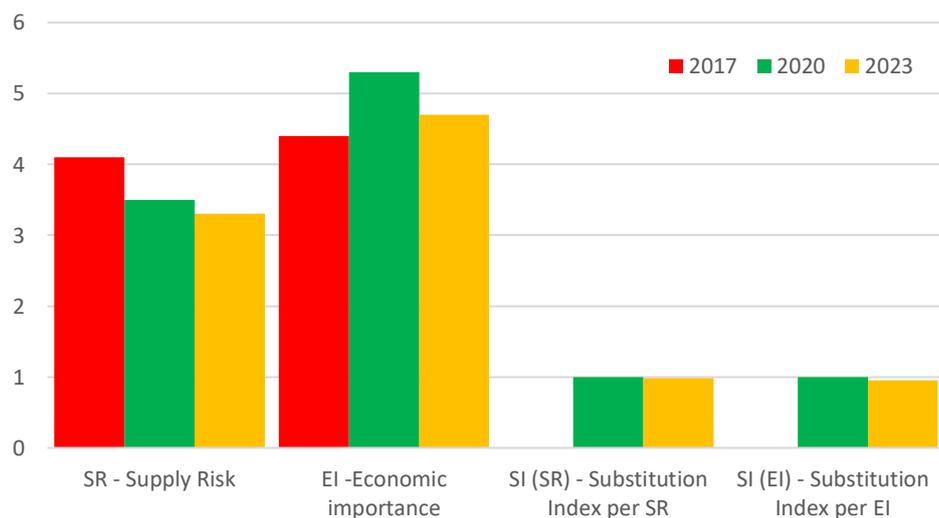
- il rischio di approvvigionamento diminuisce da 4,1 nel 2017 a 3,3 nel 2023;
- l'importanza economica, dopo un aumento nel 2020, si riduce al valore di 4,7 del 2023, che risulta comunque superiore a quello del 2017 (4,4);
- l'indice di sostituzione passa dal valore di 1 nel 2020 ai valori di 0,95 e 0,98 nel 2023 relativamente a EI e SR, rispettivamente.

Figura 32. SR, EI e SI relativi alla roccia fosfatica, andamento temporale



Fonte: European Commission (2023) Study on the Critical Raw Materials for the EU 2023. Final Report. European Commission (2020) Study on the EU's list of Critical Raw Materials (2020) Final Report. EU Commission. (2017). Study on the review of the list of critical raw materials. European Commission, Brussels. COM(2017) 490 final

Figura 33. SR, EI e SI relativi al fosforo bianco, andamento temporale



Fonte: European Commission (2023) Study on the Critical Raw Materials for the EU 2023. Final Report. European Commission (2020) Study on the EU's list of Critical Raw Materials (2020) Final Report. EU Commission. (2017). Study on the review of the list of critical raw materials. European Commission, Brussels. COM(2017) 490 final

Deloitte (2017) evidenzia che i dati pubblicati in merito alle risorse di fosforo spesso non considerano eventuali stoccaggi di P presenti in prodotti semilavorati e il potenziale di estrazione dai sottoprodotti/rifiuti ottenuti a valle della catena di valore del fosforo e da differenti materie prime

secondarie. Pertanto, è necessario valutare più nel dettaglio, con studi e ricerche di settore, la dipendenza dell'UE dall'approvvigionamento esterno di fosforo.

5.2 Import-Export a livello europeo

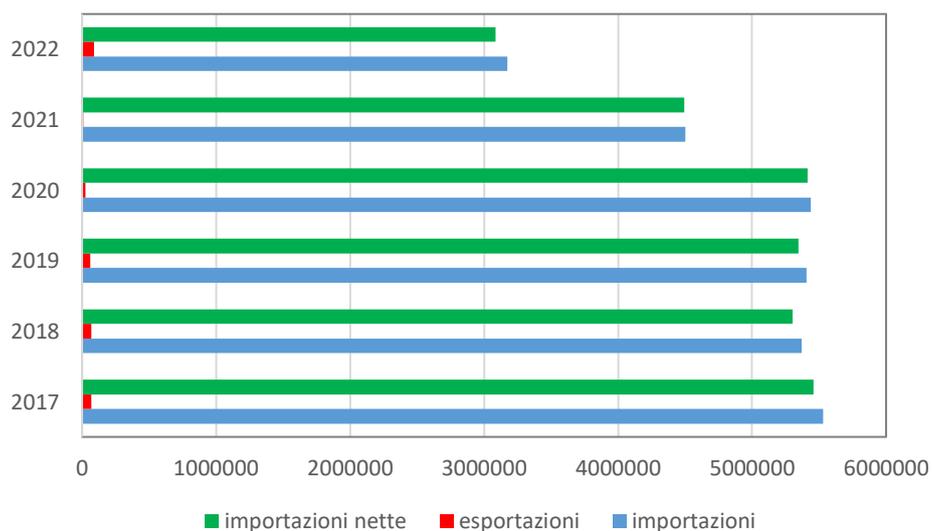
I flussi commerciali sono stati stimati utilizzando i seguenti codici della nomenclatura combinata UE (CN8), adottati per i servizi doganali dell'UE e per fornire statistiche per gli scambi all'interno dell'UE e tra l'UE e il resto del mondo:

- 25101000 (*Natural calcium phosphates and natural aluminium calcium phosphates, natural and phosphatic chalk, unground*) e 25102000 (*Natural calcium phosphates and natural aluminium calcium phosphates, natural and phosphatic chalk, ground*) per la roccia fosfatica;
- 28047000 (*Phosphorus*) per il fosforo elementare.

Per le elaborazioni sono stati considerati sia i materiali estratti che quelli derivanti da successivi processi di lavorazione.

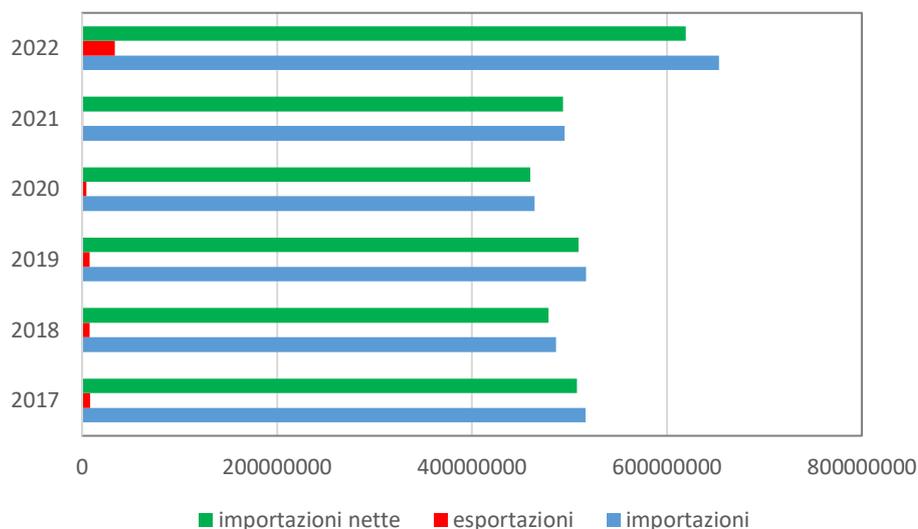
Al netto delle poche esportazioni, prevalentemente verso la Norvegia, l'UE è un paese importatore di roccia fosfatica, per un totale di circa 3 milioni di tonnellate all'anno nel 2022. Si osserva comunque una significativa diminuzione delle quantità importate rispetto al 2017, anno in cui l'UE importava 5,5 milioni di tonnellate (-44%) di roccia fosfatica. (Figura 34Figura). Le importazioni nette del 2022 hanno raggiunto un valore di quasi 620 milioni di euro, aumentato del 21% rispetto al 2017, anche a causa dell'incremento globale del costo delle materie prime (Figura 35Figura).

Figura 34. Flussi di importazioni ed esportazioni dell'UE relativi al commercio di roccia fosfatica (tonnellate)



Fonte: Dati Eurostat COMEXT (2023).

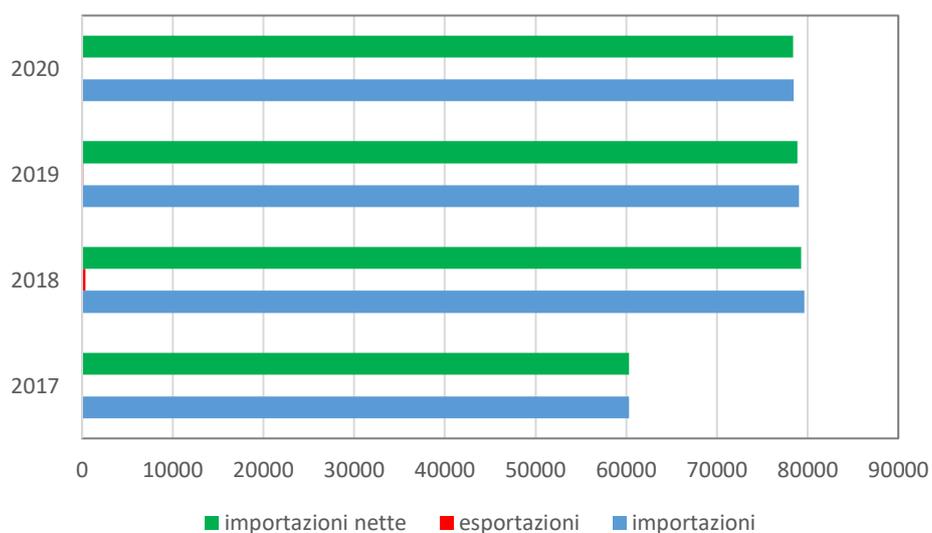
Figura 35. Valore delle importazioni e delle esportazioni dell'UE relativi al commercio di roccia fosfatica (euro)



Fonte: Dati Eurostat COMEXT (2023).

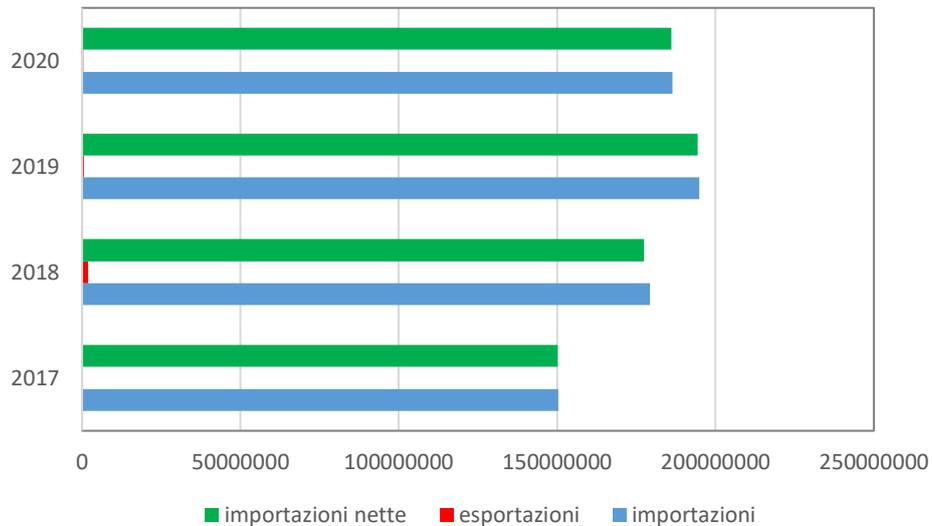
Per quanto riguarda invece il fosforo bianco, la dipendenza dell'UE dalle fonti di approvvigionamento estere è aumentato nel 2020 rispetto al 2017 (+30%), passando da un valore delle importazioni nette di 60 kt a 78 kt (Figura 36). Il valore delle importazioni è cresciuto del 24%, da 150 milioni di euro del 2017 a 186 milioni di euro del 2020 (Figura 37).

Figura 36. Flussi di importazioni ed esportazioni dell'UE relativi al commercio di fosforo bianco (tonnellate)



Fonte: Dati Eurostat COMEXT (2023).

Figura 37. Valore delle importazioni e delle esportazioni dell'UE relativi al commercio di fosforo bianco (euro)



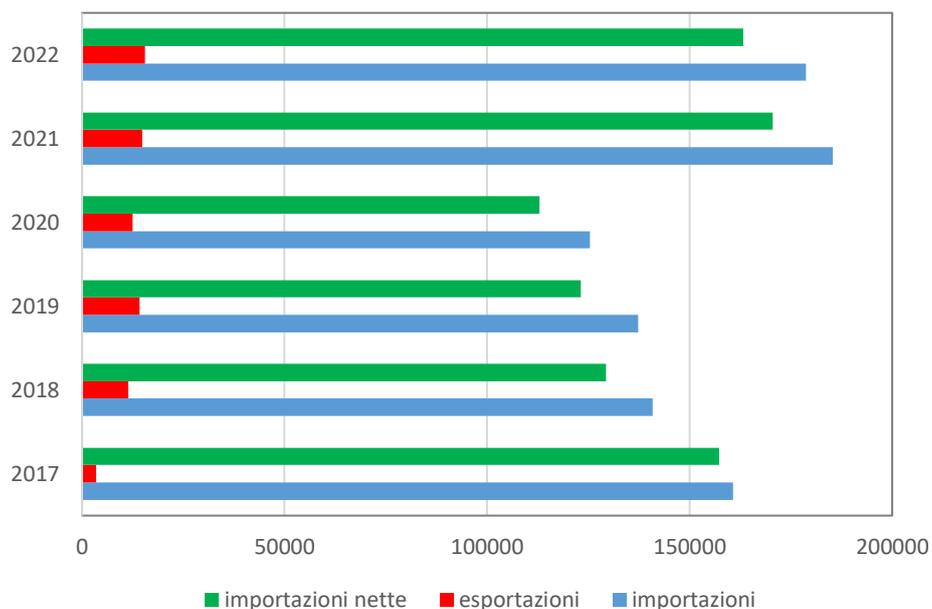
Fonte: Dati Eurostat COMEXT (2023).

5.3 Import-Export a livello italiano

Relativamente all'Italia, applicando il medesimo approccio utilizzato per l'intera UE, sono state calcolate le esportazioni, le importazioni e le importazioni nette, in termini di quantità e di valore economico, sia per la roccia fosfatica (codici 25101000 25102000) che per il fosforo (codice 28047000). I valori riportati nel seguito sono riferiti sia flussi da/per Paesi extra UE, sia da/per Paesi intra UE.

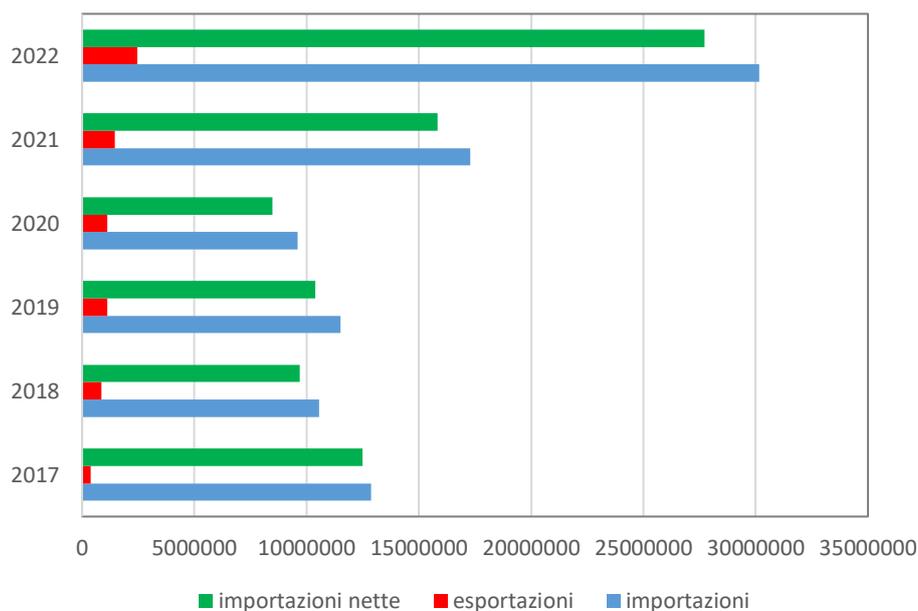
Si osserva che le importazioni di roccia fosfatica, a differenza di quanto avviene nell'UE, aumentano dal 2017 al 2022, anche se si registra una diminuzione rispetto al 2021. Nel 2022 le importazioni nette di roccia fosfatica sono pari a 163 kt (Figura 38Figura). Il valore economico di questo commercio ammonta a 27 milioni di euro, più del doppio di quanto registrato nel 2017 (Figura 39).

Figura 38. Flussi di importazioni ed esportazioni dell'Italia relativi al commercio di roccia fosfatica (tonnellate)



Fonte: Elaborazione ENEA su dati Eurostat COMEXT (2023).

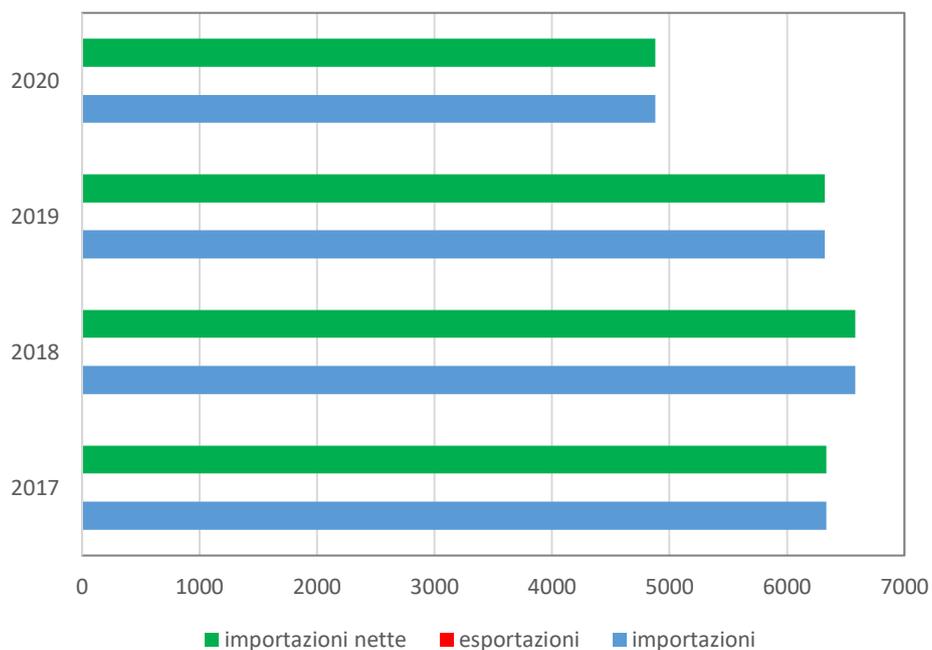
Figura 39. Valore delle importazioni e delle esportazioni dell'Italia relativi al commercio di roccia fosfatica (euro)



Fonte: Elaborazione ENEA su dati Eurostat COMEXT (2023).

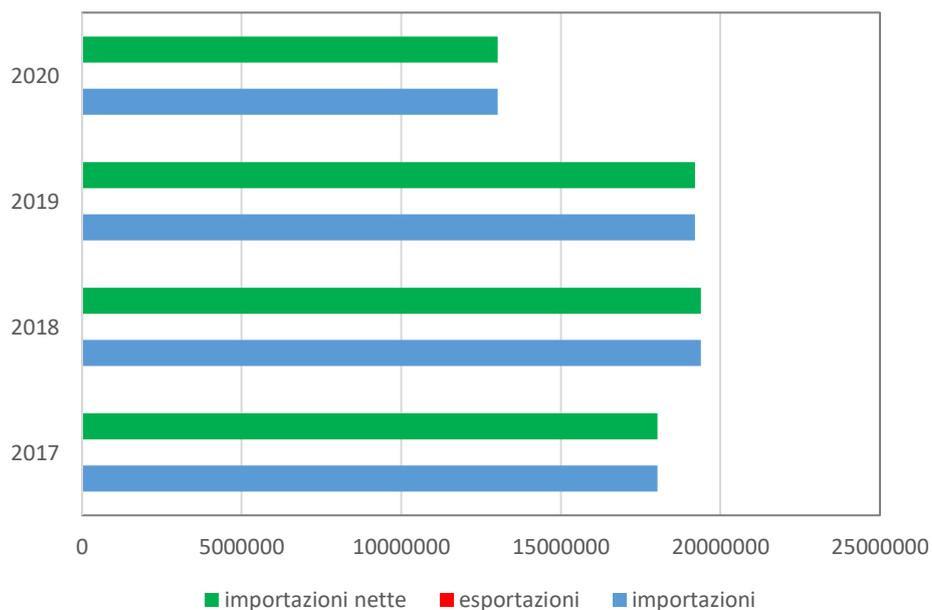
Come illustrato rispettivamente in Figura 40 e in Figura 41, per il fosforo le importazioni nette nel 2020 diminuiscono rispetto al 2017, passando da 6,3 kt a 4,9 kt (-23%), così come il loro valore (-27%).

Figura 40. Flussi di importazioni ed esportazioni dell'Italia relativi al commercio di fosforo bianco (tonnellate)



Fonte: Elaborazione ENEA su dati Eurostat COMEXT (2023).

Figura 41. Valore delle importazioni e delle esportazioni dell'Italia relativi al commercio di fosforo bianco (euro)



Fonte: Elaborazione ENEA su dati Eurostat COMEXT (2023).

Le importazioni di roccia fosfatica dell'Italia pesano relativamente poco rispetto a quelle dell'intera UE, sia in termini quantitativi che in termini di valore economico, rappresentando nel 2022 rispettivamente

il 5,6%, in crescita nell'ultimo triennio, e l'1,9% (Figura 42 e Figura 43). Le importazioni italiane di fosforo nel 2022 rappresentano il 5,8% della quantità totale importata dall'UE e il 6,9% in termini di valore economico; entrambi mostrano quasi un dimezzamento (Figura 42 e Figura 43).

Figura 42. Flussi di importazioni nette in Italia rispetto a quelle dell'UE

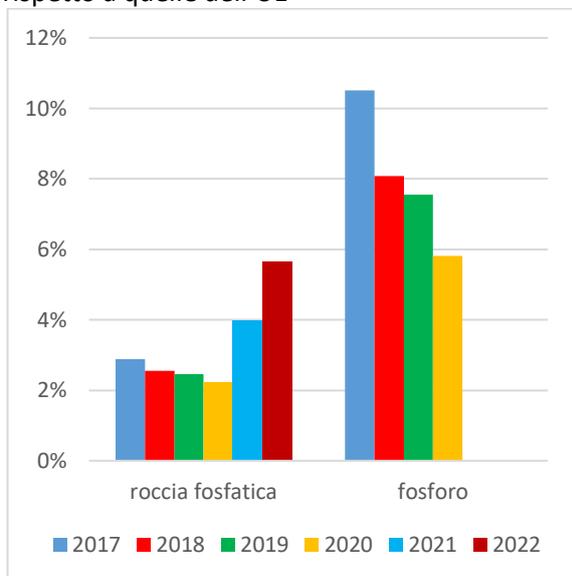
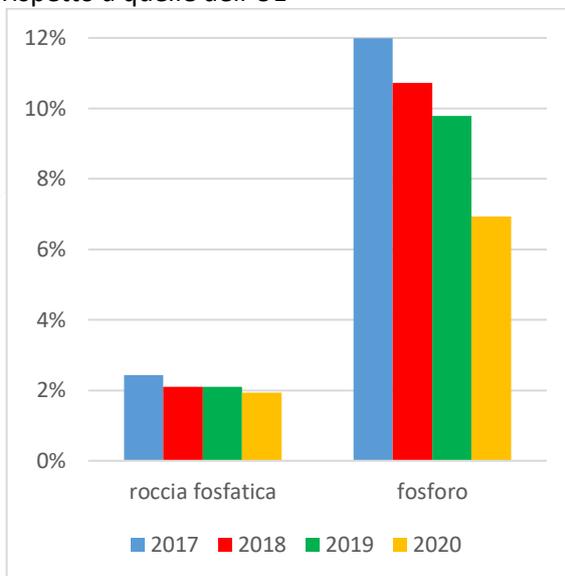


Figura 43. Valore delle importazioni nette in Italia rispetto a quelle dell'UE



Fonte: Elaborazione ENEA su dati Eurostat COMEXT (2023).

Utilizzando il database di ISTAT, nella sezione del Commercio Estero del database ISTAT⁴⁴, è stata effettuata una "consultazione tematica" per "merce", sempre impiegando i codici della Nomenclatura Combinata di maggiore dettaglio, selezionando i codici NC8 delle numerose merci che contengono il fosforo o i suoi derivati.

Figura 44. Coeweb - Statistiche del commercio estero.



Va precisato che secondo la classificazione NC8 alcuni composti contenenti fosforo sono raggruppati in categorie insieme ad altri composti non contenenti fosforo - ad esempio il tribromuro di fosforo, che fa parte del codice 28275900 insieme ad altri composti - pertanto si rende sin d'ora necessario un ulteriore approfondimento dei flussi, anche al fine di individuare le quantità di P impiegate in ogni composto. Inoltre, altri composti, pur se chimicamente identici, sono raggruppati secondo più codici

⁴⁴ <https://www.coeweb.istat.it/>

in base all'unità di vendita: è il caso di alcuni concimi, per i quali c'è un codice NC8 per le confezioni fino a 10 kg e un altro per le confezioni oltre i 10 kg o la vendita sfusa; per tale fattispecie risulta necessario raggruppare i codici.

In Tabella 17 sono riportati i flussi di import – export italiani dei vari materiali e sostanze contenenti fosforo.

Tabella 17. Flussi italiani di import –export – Anno 2022

Codice NC8	Descrizione	import (t)	export (t)	Valore acquisto (€)	Valore vendita (€)	Costo €/ton	Prezzo €/ton
25101000	Fosfati di calcio, fosfati alluminio-calcici e crete fosfatiche, naturali (non macinati)	49949,44	2953,01	9494601	483215	190,08423	163,634732
25102000	Fosfati di calcio, fosfati alluminio-calcici e crete fosfatiche, naturali (macinati)	128734,709	12569,826	20674947	1971101	160,60119	156,812115
28047000	Fosforo rosso	0	0	0	0	0	0
28091000	Anidride fosforica p2o5	1391,81	16,397	6306797	141046	4531,3635	8601,93938
28092000	Acido fosforico e acidi polifosforici	133069,306	3888,107	154671644	9780444	1162,339	2515,47707
28111910	Acidi inorganici (escl. cloruro di idrogeno (acido cloridrico), acido clorosolforico, acido solforico, oleum, acido nitrico, acidi solfonitrici, acido fosforico, acidi polifosforici, acidi borici, fluoruro d'idrogeno (acido fluoridrico), bromuro di idrogeno (acido bromidrico) e cianuro di idrogeno (acido cianidrico))	0	11,148	0	42375	0	3801,13025
28121200	Ossicloruro di fosforo	179,284	0	803682	0	4482,7313	0
28121300	Tricloruro di fosforo	1215,75	0	1603987	0	1319,3395	0
28121400	Pentacloruro di fosforo	71,083	0	382124	0	5375,7438	0
28139010	Solfuri di fosforo, incl. il trisolfuro di fosforo commerciale	26,133	0	112253	0	4295,4502	0
28275900	Tribromuro di fosforo (Bromuri e ossibromuri, esclusi quelli di sodio, potassio e mercurio)	2755,93	199,532	5270033	530544	1912,2521	2658,94192
28351000	Ipofosfiti e fosfiti organici	4664,842	1431,538	28480953	7226810	6105,4486	5048,28373
28352200	Fosfati e idrogenofosfati di sodio	1810,898	365,011	6236634	702166	3443,9455	1923,68449
28352400	Fosfati e idrogenofosfati di potassio	12576,509	326,105	26255052	745946	2087,6264	2287,44116
28352500	Fosfato dicalcico	17249,595	9151,635	18336368	8938974	1063,0028	976,762513
28352600	Fosfati e idrogenofosfati di calcio	3503,812	16205,475	6649503	21725239	1897,791	1340,61106
28352910	Fosfato di triammonio	0,338	0	2510	0	7426,0355	0
28352930	Fosfati di trisodio	602,137	6,307	1395778	19135	2318,0406	3033,93055
28352990	Altri fosfati	3296,902	324,716	8575384	1257457	2601,043	3872,48242
28353100	Trifosfato di sodio	6387,572	275,618	12438297	716835	1947,2653	2600,82796
28353900	Polifosfati (escl. trifosfato di sodio)	17245,983	2174,117	47955352	10542539	2780,6679	4849,113
29191000	Fosfato di tris2,3 dibromopropile	5,513	6,325	27356	19790	4962,0896	3128,85375

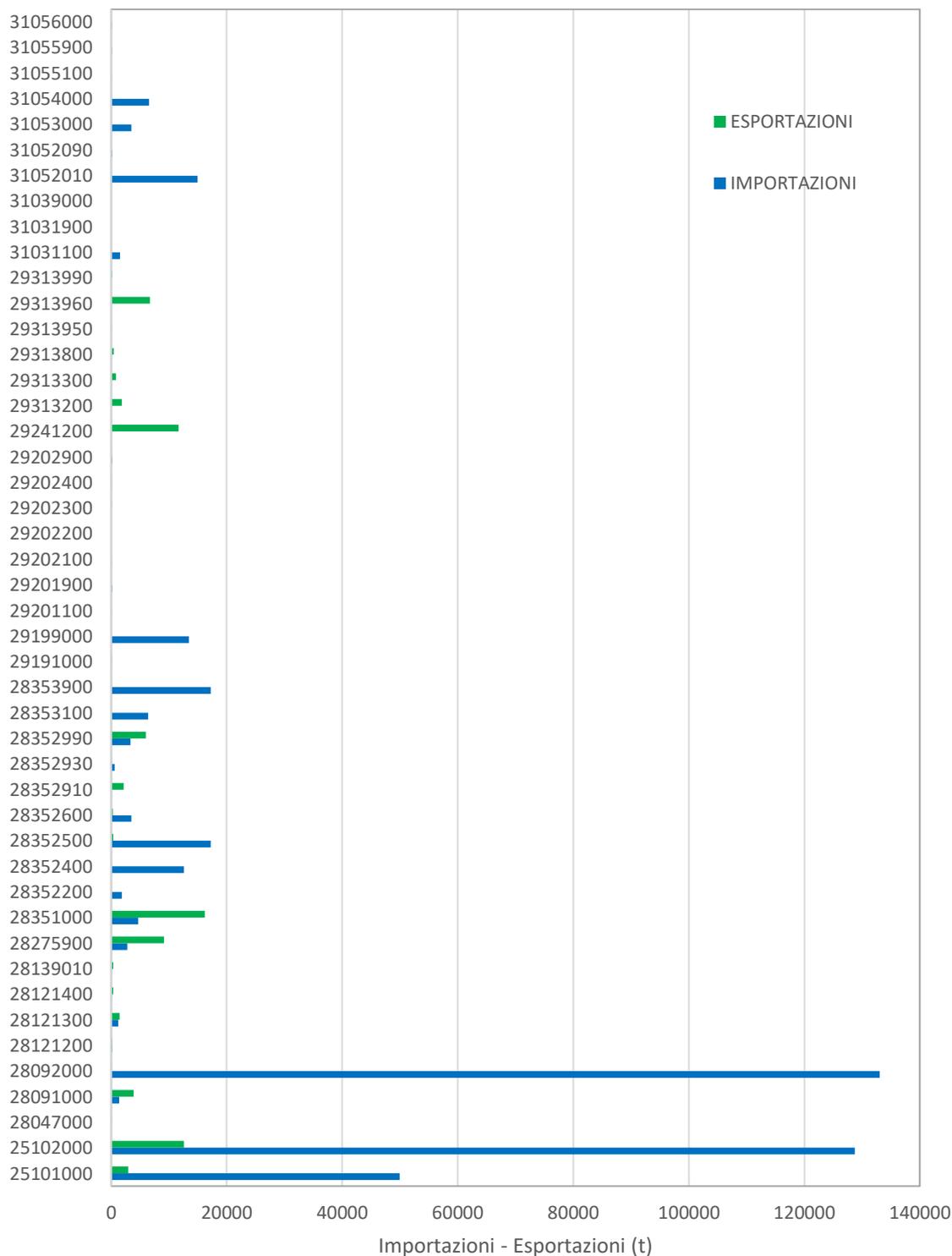
Codice NC8	Descrizione	import (t)	export (t)	Valore acquisto (€)	Valore vendita (€)	Costo €/ton	Prezzo €/ton
29199000	Fosfati organici (Esteri fosforici e loro sali, compresi i lattofosfati; loro derivati alogenati, solfonati, nitrati o nitrosi (escl. fosfato di tris(2,3-dibromopropile))	13493,271	5982,276	55280184	41621369	4096,8705	6957,44713
29201100	Paration ISO e parationmetile ISO metileparation	0,126	0	3634	0	28841,27	0
29201900	Esteri tiofosforici e loro sali e loro derivati, escluso parathion	159,616	3,025	1093429	19538	6850,3721	6458,84298
29202100	Fosfito di dimetile	0,351	0	3925	0	11182,336	0
29202200	Fosfito di dietile	0,008	0	296	0	37000	0
29202300	Fosfito di trimetile	0	0	0	0	0	0
29202400	Fosfito di trietile	30,4	0	178130	0	5859,5395	0
29202900	Esteri di fosfito e loro sali, loro derivati alogenati. solfonati, nitrati e nitrosi	168,882	94,861	720110	605692	4263,9831	6385,0476
29241200	Fosfamidon ISO, Monocrotophos ISO, Fluoroacetamide ISO	0	0	0	0	0	0
29313100	Metilfosfonato di dimetile	-	-	-	-	-	-
29313200	Dimetil propilfosfonato	0	0	0	0	0	0
29313300	Dietil etilfosfonato	0	0	0	0	0	0
29313400	Sodio 3-(triidrossisilil)propil metilfosfonato	-	-	-	-	-	-
29313500	2,4,6-tripropil-1,3,5,2,4,6-triossatrifosfinan 2,4,6-triossido	0	0	0	0	0	0
29313600	(5-etil-2-metil-2-ossido-1,3,2-diossafosfinan-5-il)metil metil metilfosfonato	0	0	0	0	0	0
29313700	Bis[(5-etil-2-metil-2-ossido-1,3,2-diossafosfinan-5-il)metil]metilfosfonato	-	-	-	-	-	-
29313800	Sale di acido metilfosfonico ed (amminoimminometil)urea (1 : 1)	0	0	0	0	0	0
29313920	Difluoruro metilfosfonico	-	-	-	-	-	-
29313930	Dicloruro metilfosfonico	-	-	-	-	-	-
29313950	Acido etidronico (acido 1-idrossietano 1,1-difosfonico) e suoi sali	0	0	0	0	0	0
29313960	Acido (nitrilotrimetanedil)trifosfonico, acido {[etan-1,2-diilbis[nitrilobis(metilen)]]tetrachisfosfonico, acido [{"2-bis(fosfonometil)amino}etil]amino}metil]bifosfonico, acido {[esan-1,6-diilbis[nitrilobis(metilene)]]tetrachisfosfonico, acido [{"(2-i]	0	0	0	0	0	0
29313990	Composti chimici separati definiti derivati organofosforici, n.n.a.	0	0	0	0	0	0
31031100	Perfosfati con P2O5 pari o superiore a 35%	1500	99,204	911027	182292	607,35133	1837,54687

Codice NC8	Descrizione	import (t)	export (t)	Valore acquisto (€)	Valore vendita (€)	Costo €/ton	Prezzo €/ton
31031900	Perfosfati (esclusi i prodotti con tenore di pentaossido di difosforo (P2O5) pari o superiore a 35%, in peso, o in tavolette o forme simili, o in imballaggi di peso lordo inferiore o uguale a 10 kg)	0	24,5	0	15006	0	612,489796
31039000	Concimi chimici fosfatici escl. perfosfati	0	3,6	0	2664	0	740
31052010	Concimi NPK, NP o PK, vari formati	14980,385	11655,948	10898835	11795561	727,54038	1011,97783
31052090	Concimi NPK, NP o PK, vari formati	205,773	1818,877	276365	2957542	1343,0576	1626,02639
31053000	Idrogenoortofosfato di diammonio	3462,139	798,027	2973008	698401	858,72	875,159612
31054000	Fosfato monoammonico, anche in miscuglio con l'idrogenoortofosfato di diammonio (fosfato diammonico), escl. quello presentato in tavolette o forme simili o in imballaggi di peso lordo <= 10 kg)	6523,757	463,058	7097997	689654	1088,0229	1489,34691
31055100	Concimi, minerali o chimici, contenenti nitrati e fosfati (escl. diidrogenoortofosfato di ammonio (fosfato monoammonico) e idrogenoortofosfato di diammonio (fosfato diammonico) nonché quelli presentati in tavolette o forme simili o in imballaggi di peso lordo =< 10 kg)	9,887	70,274	18691	280630	1890,4622	3993,36881
31055900	Concimi NPK, NP o PK, vari formati	102,071	6693,825	166697	4210797	1633,1475	629,056929
31056000	Concimi NPK, NP o PK, vari formati	122,032	205,481	170063	257378	1393,5935	1252,5635
31059000	Concimi NPK, NP o PK, vari formati	-	-	-	-	-	-

Fonte: commercio estero COEWEB- ISTAT (2023)

I fosfati e i concimi fosfatici rappresentano i flussi più importanti, come mostrato anche in Figura 45.

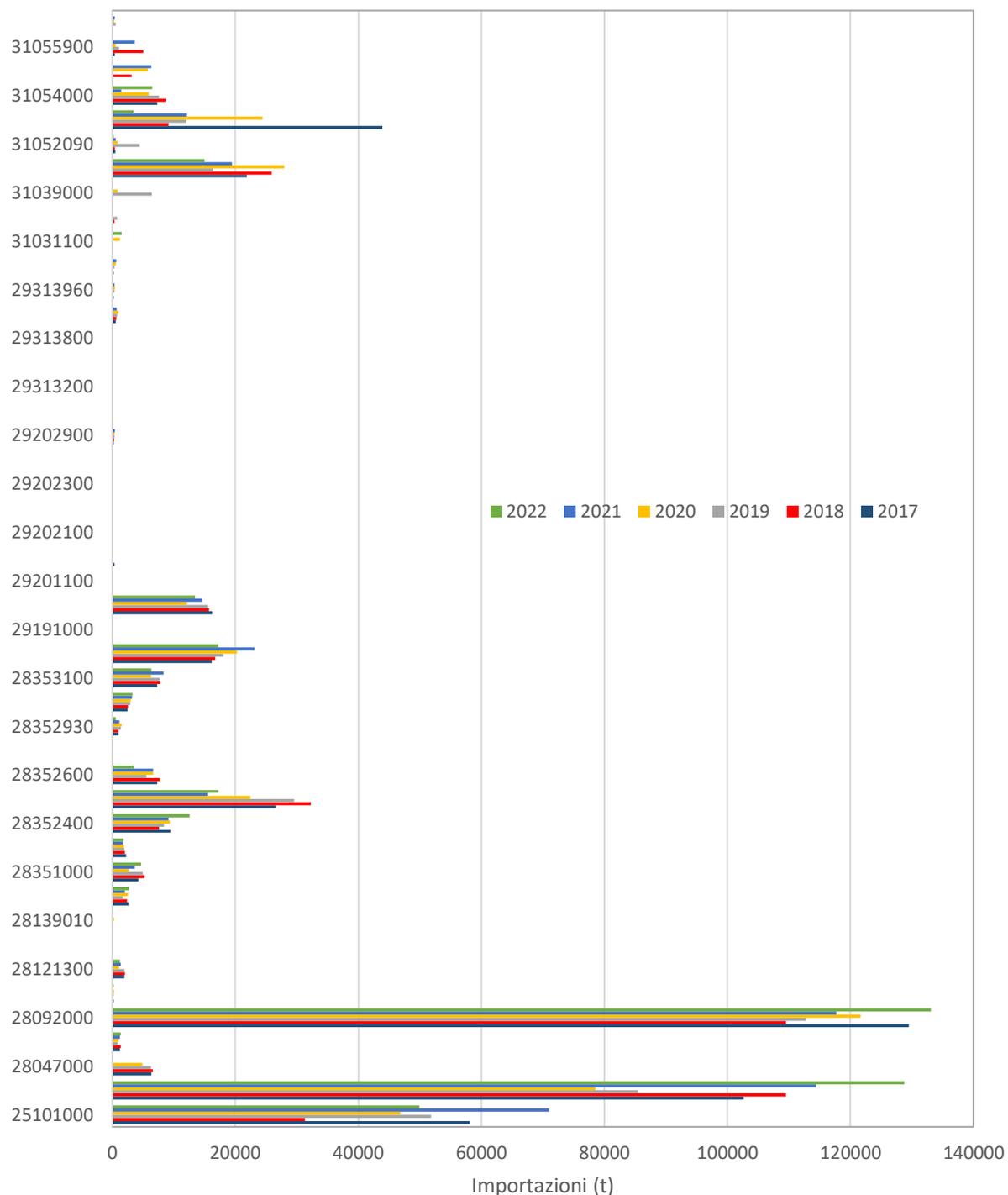
Figura 45. Importazioni ed esportazioni italiane di materiali e sostanze contenenti fosforo in funzione del codice NC8, anno 2022.



Fonte: Elaborazione ENEA su dati commercio estero COEWEB- ISTAT (2023)

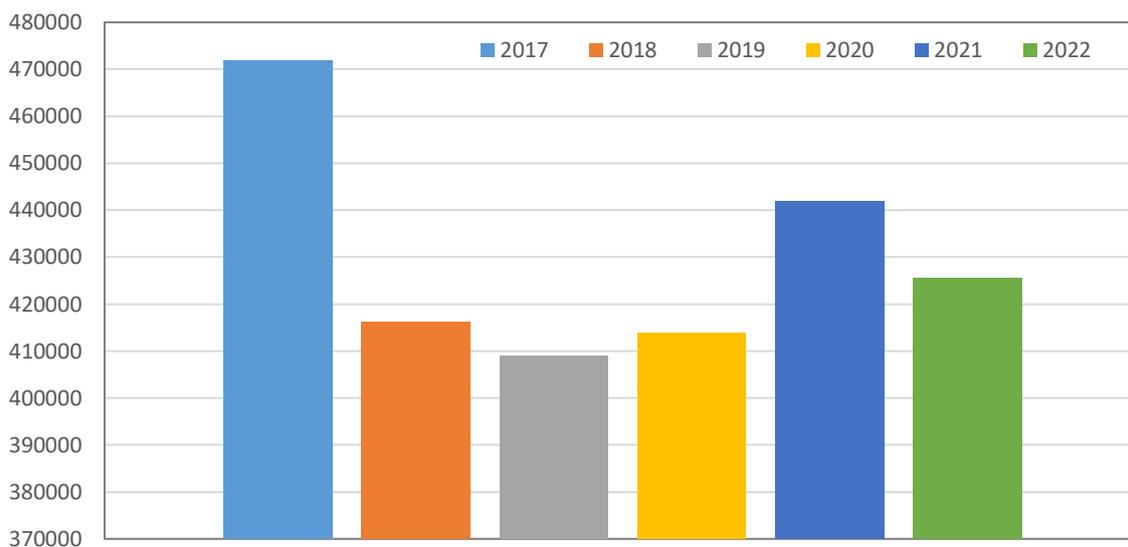
Fatta eccezione per i fosfati, si nota una generale diminuzione delle importazioni di materiali e sostanze contenenti fosforo nel periodo 2017-2022 (Figura 46), come confermato anche dall'analisi delle importazioni complessive (Figura 47).

Figura 46. Importazioni ed esportazioni italiane di materiali e sostanze contenenti fosforo in funzione del codice NC8, anno 2022



Fonte: Elaborazione ENEA su dati commercio estero COEWEB- ISTAT (2023)

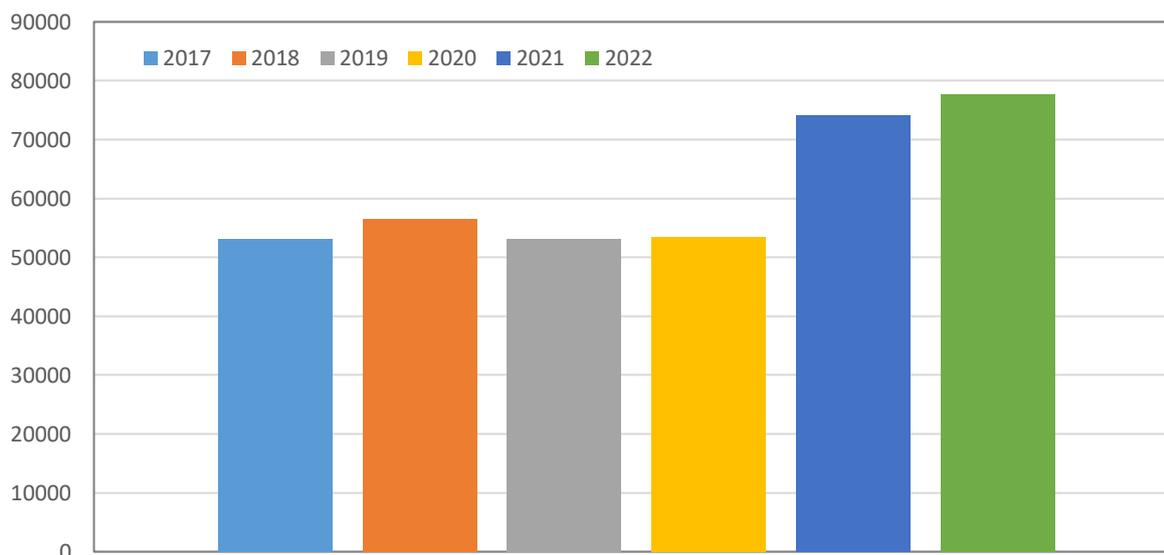
Figura 47. Importazioni italiane della totalità dei materiali e delle sostanze contenenti fosforo (tonnellate)



Fonte: Elaborazione ENEA su dati commercio estero COEWEB- ISTAT (2023)

Nel periodo 2017-2022 si registra invece un aumento delle importazioni complessive di materiali e sostanze contenenti fosforo (Figura 48).

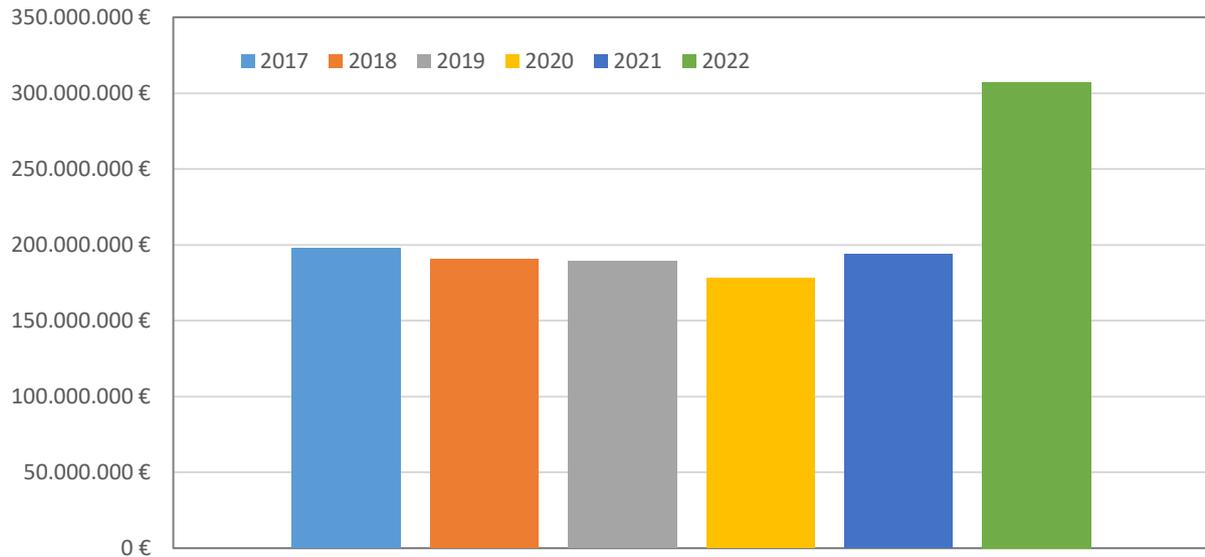
Figura 48. Esportazioni italiane della totalità dei materiali e delle sostanze contenenti fosforo (tonnellate)



Fonte: Elaborazione ENEA su dati commercio estero COEWEB- ISTAT (2023)

Relativamente al valore economico delle importazioni e delle esportazioni, si osserva un aumento nel 2022 della differenza tra il valore degli acquisti e il valore della vendita dei materiali e delle sostanze contenenti fosforo (Figura 49).

Figura 49. Bilancia commerciale italiana (importazioni – esportazioni) riferita alla totalità dei materiali e delle sostanze contenenti fosforo (euro)



Fonte: Elaborazione ENEA su dati commercio estero COEWEB- ISTAT (2023)

Relativamente ai Paesi da cui dipendono i flussi importati (Tabella 18, Figura 50), si osserva che in generale le forniture dei principali flussi di materiali e sostanze contenenti fosforo provengono principalmente da Paesi extra UE (circa l'85% sul complessivo). Fanno eccezione alcuni casi specifici (29202200, 29202100, 29191000, 28352930, 28352600, 28352200, 28121300, 28121200 e 28047000), per i quali le importazioni provengono per la quasi totalità dall'UE.

Tabella 18. Importazioni per provenienza di area geografica dei principali flussi di fosforo – Anno 2022 (kg)

Codice NC8	import da UE	import extra-UE
25101000	22.440	49.927.000
25102000	944.219	127.790.490
28091000	384.310	1.007.500
28092000	13.466.156	119.603.141
28121200	179.284	
28121300	1.215.750	
28121400	27.883	43.200
28139010	20.736	5.397
28275900	2.261.141	494.789
28351000	1.258.565	3.406.277
28352200	1.802.532	8.346
28352400	1.450.489	11.126.020
28352500	10.094.890	7.154.705
28352600	3.499.405	4.406
28352930	602.137	
28352990	1.507.193	1.789.709
28353100	126.499	149.119
28353900	10.003.436	7.242.547
29191000	5.513	
29199000	8.285.997	5.207.265
29201900	44.616	115.000
29202400		30.400
29202900	131.332	37.550
31031100		1.500.000
31052010	4.899.085	10.081.300
31052090	201.393	4.380
31053000	52.139	3.410.000
31054000	883.357	5.640.400
31055100		9.887
31055900	102.071	
31056000	104.114	17.918

Fonte: Elaborazione ENEA su dati commercio estero COEWEB- ISTAT (2023)

Figura 50. Importazioni per area geografica di provenienza dei principali flussi di fosforo – Anno 2022



Fonte: Elaborazione ENEA su dati commercio estero COEWEB- ISTAT (2023)

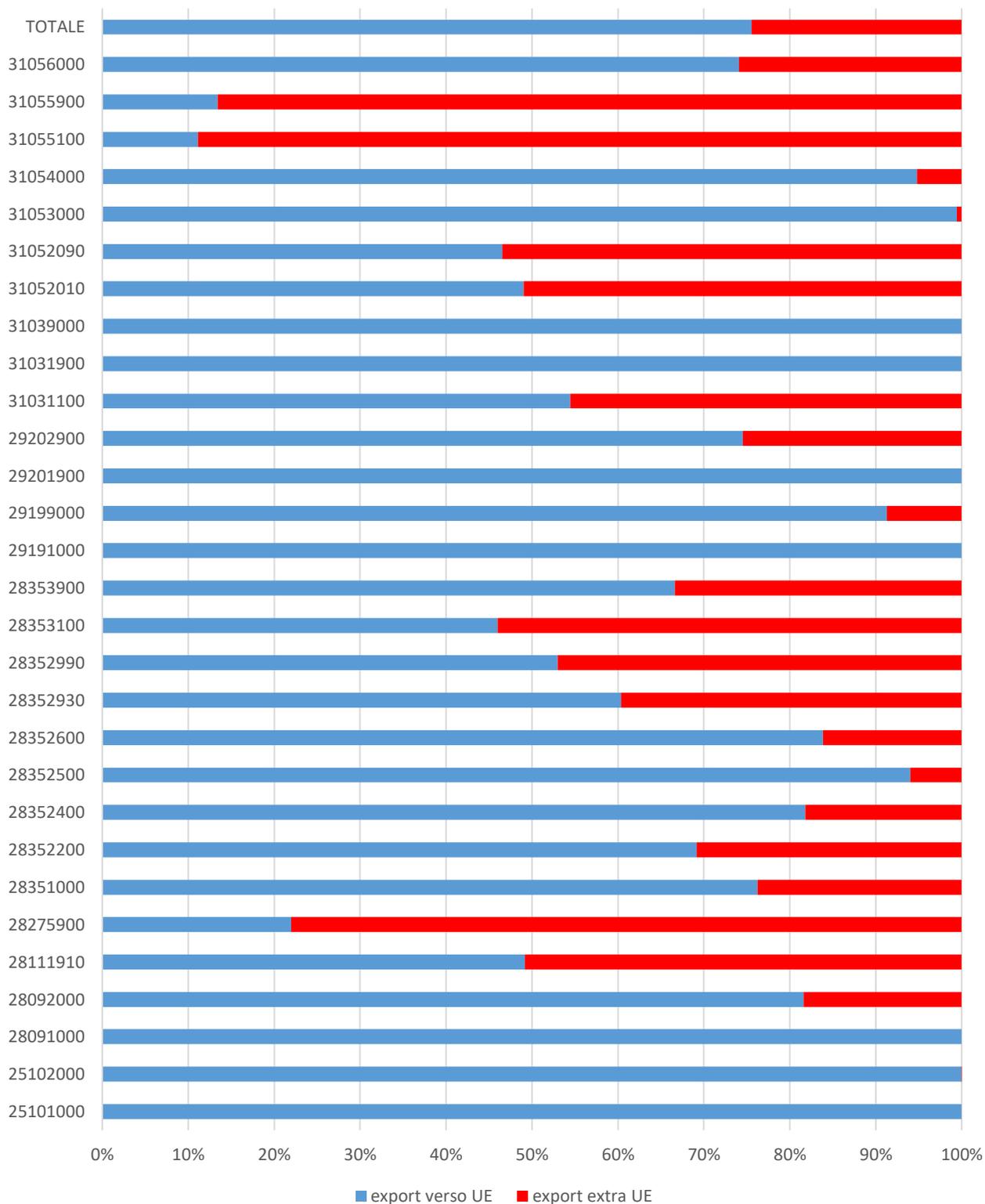
Per quanto riguarda l'esportazione di materiali e sostanze contenenti fosforo, l'Italia esporta in via prevalente verso Paesi UE (75% sul complessivo EU), eccezion fatta per i codici NC8 31052090, 31054000 e 31055100 (Tabella 19, Figura 51).

Tabella 19. Esportazioni per area geografica di destinazione dei principali flussi di fosforo – Anno 2022 (kg)

Codice NC8	esportazioni verso UE	esportazioni extra UE
25101000	2.953.010	0
25102000	12.565.730	4.091
28091000	16.397	0
28092000	3.173.799	714.308
28111910	5.480	5.668
28275900	43.832	155.700
28351000	1.091.621	339.917
28352200	252.475	112536
28352400	266.740	59365
28352500	8.604.059	547576
28352600	13.591.120	2614175
28352930	3.807	2500
28352990	171.986	152690
28353100	126.635	148683
28353900	1.447.772	726087
29191000	6.325	0
29199000	5.461.314	520962
29201900	3.025	0
29202900	70.721	24140
31031100	54.020	45184
31031900	24.500	0
31039000	3.600	0
31052010	5.715.884	5940064
31052090	846.637	972240
31053000	793.667	4360
31054000	439.058	24000
31055100	7.832	62442
31055900	898.709	5795116
31056000	152.357	53214

Fonte: Elaborazione ENEA su dati commercio estero COEWEB- ISTAT (2023)

Figura 51. Esportazioni per area geografica di destinazione dei principali flussi di fosforo – Anno 2022



Fonte: Elaborazione ENEA su dati commercio estero COEWEB- ISTAT (2023)

Conclusioni e lavori futuri

Il presente report costituisce un aggiornamento del lavoro realizzato nel 2019 e, successivamente, a luglio 2023, che inquadra il mercato del fosforo a livello globale, europeo e nazionale in termini di domanda e offerta, primaria e secondaria, ma anche di flussi.

Anche in questo aggiornamento, appare evidente come il fosforo sia indispensabile per tutta una serie di settori a valle, anche nel contesto nazionale. Poiché, tuttavia, l'approvvigionamento primario dipende da Paesi extra EU con condizioni geopolitiche instabili occorre approfondire tematiche e condurre ricerche che portino a limitare la dipendenza nell'approvvigionamento per l'economia nazionale. Ad oggi persistono molteplici fattori che ostacolano il recupero del fosforo come i ridotti quantitativi recuperabili da prodotti complessi, il ridotto impiego di materie prime seconde in nuovi cicli produttivi, la ridotta economicità dei processi di recupero e così via. Come nel 2019, una corretta gestione dei rifiuti, innovazioni tecnologiche e il supporto normativo possono generare valide opportunità per il futuro del recupero del fosforo.

Il gruppo di lavoro ha identificato una prima lista di lavori futuri di approfondimento che verranno realizzati nel prosieguo dei lavori della Piattaforma qualora si rendano disponibili dati primari o secondari:

- Definizione di ulteriori player italiani da coinvolgere nella Piattaforma e posizionamento delle organizzazioni coinvolte sulla catena del valore (ENEA)
- Analisi produzione industriale (ISTAT), con aggregazione codici PRODCOM + ATECO + NC8 per ogni applicazione di fosforo individuata
- Dati su produzione fanghi (ISTAT)
- Costi (e benefici) di tecnologie di recupero del fosforo (EFAR+Assoambiente), con una stima dei costi d'investimento dovuti all'adeguamento degli impianti e supporto all'implementazione degli impianti per il recupero del fosforo

Il presente documento è pertanto da considerarsi come un "open file" soggetto a modifiche e integrazioni derivanti da approfondimenti successivi e da ulteriori studi da parte del gruppo di lavoro.

Riferimenti bibliografici

- Ahmed, M., Nigussie, A., Addisuc, S., Belayd, B., Sato, S. (2021). Valorization of animal bone into phosphorus biofertilizer: effects of animal species, thermal processing method, and production temperature on phosphorus availability. *Soil Science and Plant Nutrition*, 67(4), 471–481.
- Amery, F., & Schoumans, O. F. (2014). *Agricultural phosphorus legislation in Europe*. Institute for Agricultural and Fisheries Research (ILVO).
- Audra, P., De Waele, J., Bentaleb, I., Chroňáková, A., Křišťůfek, V., D'Angeli, I. M., ... & Sanz-Arranz, A. (2019). Guano-related phosphate-rich minerals in European caves. *International Journal of Speleology*, 48(1), 75-105.
- Brownlie, W. J., Sutton, M. A., Reay, D. S., Heal, K. V., Hermann, L., Kabbe, C., Spears, B. M. (2021). Global actions for a sustainable phosphorus future. *Nature Food*, 2, 71–74.
- Canziani, R., & Di Cosmo, R. (2018). Stato dell'arte e potenzialità delle tecnologie di recupero del fosforo dai fanghi di depurazione. *Ingegneria dell'Ambiente*, 5(3).
- Cordell, D., & White, S. (2011). Peak phosphorus: clarifying the key issues of a vigorous debate about long-term phosphorus security. *Sustainability*, 3(10), 2027-2049.
- de Matos, C. T., Devauze, C., Planchon, M., Wittmer, D. M. A. G., Ewers, B., Auberger, A., ... & Mathieux, F. (2021). *Material System Analysis of Nine Raw Materials: Barytes, Bismuth, Hafnium, Helium, Natural Rubber, Phosphorus, Scandium, Tantalum and Vanadium* (p. 66). Luxembourg: Publications Office of the European Union.
- Deloitte Sustainability, & et Minières, B. D. R. G. (2017). Study on the Review of the List of Critical Raw Materials: Critical Raw Materials Factsheets.
- European Commission (2020) Study on the EU's list of Critical Raw Materials (2020), Critical Raw Materials Factsheets (Final)
- European Commission (2023) Study on the Critical Raw Materials for the EU 2023. Final Report
- Forte, F., Pietrantonio, M., Pucciarmati, S., Puzone, M., Fontana, D. (2020): Lithium iron phosphate batteries recycling: An assessment of current status. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 51(19), 2232-2259.
- Jupp, A. R., Beijer, S., Narain, G. C., Schipperc, W., Slootweg, J. C. (2021). Phosphorus recovery and recycling – closing the loop. *Chemical Society Reviews*, (50), 87, 101.
- Krauss, U. H., & Saam, H. G. (1984). *International Strategic Minerals Inventory Summary Report, Phosphate* (No. 930). Department of the Interior, US Geological Survey.
- Li, H., Xing, S., Liu, Y., Li, F., Guo, H., & Kuang, G. (2017). Recovery of lithium, iron, and phosphorus from spent LiFePO₄ batteries using stoichiometric sulfuric acid leaching system. *ACS sustainable chemistry & engineering*, 5(9), 8017-8024.
- Liu, Y., Villalba, G., Ayres, R. U., & Schroder, H. (2008). Global phosphorus flows and environmental impacts from a consumption perspective. *Journal of Industrial Ecology*, 12(2), 229-247.
- Luyckx, L. and Van Caneghem, J. (2021). Recovery of phosphorus from sewage sludge ash: Influence of incineration temperature on ash mineralogy and related phosphorus and heavy metal extraction. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 9(6), 106471.

- McKinsey & Company (2022). Power spike: How battery makers can respond to surging demand from EVs 2022.
- OSPAR Commission. (2008). Assessment of the environmental impact of offshore wind-farms. *OSPAR Biodiversity Series*.
- Sarvajayakesavalu, S., Lu, Y., Withers, P. J., Pavinato, P. S., Pan, G., & Chareonsudjai, P. (2018). Phosphorus recovery: a need for an integrated approach. *Ecosystem Health and Sustainability*, 4(2), 48-57.
- Smol, M., Preisner, M., Bianchini, A., Rossi, J., Hermann, L., Schaaf, T., ... & Svanström, M. (2020). Strategies for sustainable and circular management of phosphorus in the Baltic Sea Region: The holistic approach of the InPhos Project. *Sustainability*, 12(6), 2567.
- Sun, H., Mohammed, A. N., & Liu, Y. (2020). Phosphorus recovery from source-diverted blackwater through struvite precipitation. *Science of the total environment*, 743, 140747.
- U.S. Geological Survey, 2023, Mineral commodity summaries 2023: U.S. Geological Survey, 210.
- Van Dijk, K. C., Lesschen, J. P., & Oenema, O. (2016). Phosphorus flows and balances of the European Union Member States. *Science of the Total Environment*, 542, 1078-1093.
- Van Enk, R. J., Acera, L. K., Schuiling, R. D., Ehlert, P., De Wilt, J. G., & Van Haren, R. J. F. (2011). The phosphate balance: current developments and future outlook. *Innovation Network Reports*, (10.2. 232E).
- Van Kauwenbergh, S. J. (2010). *World phosphate rock reserves and resources* (p. 48). Muscle Shoals: IFDC.
- Wang, M., Liu, K., Dutta, S., Alessi, D. S., Rinklebe, J., Ok, J. S., Tsang, D. C.W. (2022) Recycling of lithium iron phosphate batteries: Status, technologies, challenges, and prospects. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 163, 112515.
- Wieczorek, D., Żyszka-Haberecht, B., Kafka, A., & Lipok, J. (2021). Phosphonates as unique components of plant seeds—a promising approach to use phosphorus profiles in plant chemotaxonomy. *International Journal of Molecular Sciences*, 22(21), 11501.
- Witek-Krowiak, A., Gorazda, K., Szopa, D., Trzaska, K., Moustakas, K., Chojnacka, K. (2022). Phosphorus recovery from wastewater and bio-based waste: an overview, *Bioengineered*, 13(5), 13474-13506.
- Yang, Y., Zheng, X., Cao, H., Zhao, C., Lin, X., Ning, P., ... & Sun, Z. (2017). A closed-loop process for selective metal recovery from spent lithium iron phosphate batteries through mechanochemical activation. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, 5(11), 9972-9980.
- Yu, H., Lu, X., Miki, T., Matsubae, K., Sasaki, Y., & Nagasaka, T. (2022). Sustainable phosphorus supply by phosphorus recovery from steelmaking slag: a critical review. *Resources, Conservation and Recycling*, 180, 106203.
- Zheng, Y., Wan, Y., Zhang, Y., Huang, J., Yang, Y., Tsang, D. C. W., Wang, H., Chen, H., Gao, B. (2023) Recovery of phosphorus from wastewater: A review based on current phosphorous removal technologies, *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 53(11), 1148-1172.

Sitografia

[http://europa.eu/rapid/press-release_IP-18-3846_it.htm.](http://europa.eu/rapid/press-release_IP-18-3846_it.htm)

http://scienceindia.in/home/view_article/419

<https://ec.europa.eu/eurostat/comext/newxtweb/>

[https://extension.umn.edu/phosphorus-and-potassium/understanding-phosphorus-fertilizers#organic-vs.-inorganic-620260.](https://extension.umn.edu/phosphorus-and-potassium/understanding-phosphorus-fertilizers#organic-vs.-inorganic-620260)

<https://phosphorusplatform.eu/>

https://phosphorusplatform.eu/images/About-us/ESPP%20statutes%20ENG%20translation%20v%201_2023.pdf

[https://phosphorusplatform.eu/images/download/ESPP%20conference%20Phosphorus%20stewardship/Schipper-ESPP-1-12-16.pdf.](https://phosphorusplatform.eu/images/download/ESPP%20conference%20Phosphorus%20stewardship/Schipper-ESPP-1-12-16.pdf)

<https://rmis.jrc.ec.europa.eu/?page=factsheets-2020-dfe63e>

<https://www.coeweb.istat.it/>

<https://www.indexmundi.com/commodities/?commodity=rock-phosphate&months=180¤cy=eur&commodity=crude-oil>

<https://www.indexmundi.com/commodities/?commodity=rock-phosphate&months=240>

<https://www.magonlinelibrary.com/doi/abs/10.1016/S0306-3747%2820%2930039-7>

<https://www.opfglobal.com/>

[https://www.piattaformaitalianafosforo.it/it/component/jdownloads/?task=download.send&id=33&Itemid=729.](https://www.piattaformaitalianafosforo.it/it/component/jdownloads/?task=download.send&id=33&Itemid=729)

[https://www.usgs.gov/centers/nmic/phosphate-rock-statistics-and-information.](https://www.usgs.gov/centers/nmic/phosphate-rock-statistics-and-information)