

CLAUDIO CIAVATTA¹

Le problematiche della fertilità e dei fertilizzanti oggi

¹ Dipartimento di Scienze e Tecnologie Agro-Alimentari,
Alma Mater Studiorum Università di Bologna

I. INTRODUZIONE

In questo momento storico trattare le problematiche della fertilità dei suoli e dei fertilizzanti, assume un rilievo ancora più attuale alla luce della maggiore e crescente coscienza che i cittadini e le Istituzioni hanno nei confronti della risorsa suolo, della salvaguardia delle sue funzioni vitali, del suo ruolo cruciale nella produzione di alimenti per uomini e animali, di fibre, legname, ecc., e della conservazione di questa essenziale risorsa difficilmente rinnovabile. Temi, questi, tutti molto cari al prof. Paolo Sequi, sui quali ha dedicato gran parte delle sue energie di ricercatore, docente e scienziato nel corso della lunga e brillantissima carriera accademica, sin dall'esordio agli inizi degli anni '60.

Il consumo di suolo, sia in termini fisici che di funzionalità, quindi di fertilità, è un tema che deve trovare un consenso unanime e trasversale nell'ambito della ricerca e del trasferimento tecnologico, al di là delle sfumature e delle sensibilità di ciascun individuo e degli schieramenti politici. Anche in questo, il prof. Sequi ha precorso i tempi.

La fertilizzazione è uno strumento indispensabile per consentire la nutrizione equilibrata dei vegetali e garantire la sicurezza alimentare in termini di possibilità universale di accesso a una quantità di cibo sufficiente per condurre una vita dignitosa (*food security*) e di qualità, intesa come igiene e salubrità di un alimento (*food safety*).

Oltre a questo ruolo fondamentale, la fertilizzazione deve rispondere anche alle esigenze di salvaguardia della salute dell'uomo, degli animali, del suolo, delle acque e dell'aria cioè dell'ambiente, così come chiaramente definito dagli articolati delle norme di settore (Reg. (UE) 2019/1009; D.Lgs. 75/2010; Reg. (UE) 2018/848).

La fertilizzazione del futuro non potrà prescindere da un utilizzo razionale e parsimonioso delle risorse naturali, con particolare riguardo alle non rinnovabili. Pertanto, la stella polare che dovrà guidare lo sviluppo di nuovi prodotti fertilizzanti, così come il miglioramento di quelli esistenti, dovrà essere l'economia circolare (2020). La riduzione dell'uso di risorse non rinnovabili, i costi dell'energia cresciuti esponenzialmente tra fine 2021 e nel 2022, i recenti venti di guerra in Europa che hanno fatto prepotentemente emergere la forte dipendenza fra costi dell'energia e costi dei fertilizzanti minerali di sintesi, sarà un *must* anche per il settore fertilizzanti. Per dare risposte concrete occorrerà intervenire sinergicamente su alcuni aspetti di seguito trattati.

2. COSTI ENERGETICI PER LA PRODUZIONE DEI CONCIMI MINERALI

I costi energetici per la produzione dei concimi minerali, la maggior parte di sintesi, hanno iniziato a salire dall'autunno 2021 per poi crescere esponenzialmente dalla primavera 2022 in concomitanza dell'inizio del conflitto russo-ucraino. La ragione è semplice. La maggior parte di questa produzione è energivora e la fonte principale è data dal gas metano. Si tenga presente che, ad esempio, per sintetizzare una tonnellata (t) di ammoniaca (NH_3), la base della maggior parte dei concimi azotati di sintesi, occorre circa 1 t di nafta, oppure servono 30-35 MMBTU¹ di gas naturale, 1,9 t di carbone, oppure tra 8.000-12.000 kWh quando si produce per elettrolisi. Per produrre 1000 kg di urea (1 t), il più utilizzato concime azotato (circa il 50% del totale delle unità fertilizzanti azotate distribuite annualmente in campo a livello mondiale) occorrono 580 kg di ammoniaca (Alessio Vernì e Ciavatta, 2016). Un quadro piuttosto esaustivo delle materie prime necessarie per produrre le maggiori tipologie di concimi minerali è riportato nella tabella 1.

¹ 1 MMBTU equivale a 1 milione di BTU (British Thermal Unit). Il gas naturale è misurato in BTU. L'unità MBTU viene utilizzata per misurare il gas naturale e in altri settori per indicare 1.000 BTU. Tuttavia, esiste un'ambiguità in quanto il sistema metrico (SI) utilizza il prefisso "M" per indicare "Mega-", un milione (1.000.000). Così, "MMBTU" è spesso usato per indicare un milione di BTU, in particolare nell'industria petrolifera e del gas. 1 BTU = 28,263682 mJ di gas naturale a temperatura e pressione definite. 1 BTU equivale a circa 1055 Joule.

PER PRODURRE 1000 kg (1 t) DI:	MATERIE PRIME NECESSARIE
Ammoniaca (NH ₃)	1000-1100 kg di nafta, oppure 30-35 MMBtu di gas naturale
Urea 46% N	580 kg di NH ₃ + CO ₂
Acido nitrico (100%)	290 kg di NH ₃
Nitrato ammonico 34% N	210 kg di NH ₃ + 780 kg di acido nitrico
Nitrato ammonico calcareo 26% N	160 kg di NH ₃ + 590 kg di acido nitrico + 250 kg di carbonati
Acido solforico (100%)	330 kg di zolfo
Acido fosforico (100%)	2300-2800 kg di roccia fosfatica + 2000-2100 kg di acido solforico
Perfosfato triplo 46% P ₂ O ₅	400-470 kg di roccia fosfatica + 490-510 kg di acido fosforico
Perfosfato semplice 19% P ₂ O ₅	640-700 kg di roccia fosfatica + 370 kg di acido solforico
Fosfato biammonico NP 18-46	230 kg di NH ₃ + 640-660 kg di acido fosforico
Fosfato monoammonico NP 11-53	145 kg di NH ₃ + 740-760 kg di acido fosforico

Tab. 1 *Materie prime necessarie alla produzione dei più comuni concimi minerali (Alessio Verni e Ciavatta, 2016)*

Pertanto, per produrre 1000 kg di urea agricola 46% N occorrono 580 kg di ammoniaca (tab. 1) che, in termini energetici, significa:

$$\begin{aligned}
 0,58 \text{ (t)} \times 30-35 \text{ (MMBTU)} &= 17,4-20,3 \text{ MMBtu} \\
 17,4-20,3 \text{ (MMBTU)} \times 28,263682 \text{ (m}^3 \text{ di gas naturale)} &= 492-574 \text{ m}^3 \text{ di gas naturale} \\
 0,58 \text{ (t)} \times 1900 \text{ (kg di carbone)} &= 1102 \text{ kg di carbone} \\
 0,58 \text{ (t)} \times 8000-12.000 \text{ (kWh)} &= 4640-6960 \text{ kWh}
 \end{aligned}$$

Ciò significa anche che in 1000 kg di urea agricola 46% N ci sono 460 kg di N. Riprendendo i dati sopra riportati avremo che per sintetizzare 1 kg di N ureico occorreranno:

$$\begin{aligned}
 492-574 \text{ (m}^3 \text{ di gas naturale)} / 460 \text{ (kg di N)} &= 1,07-1,25 \text{ m}^3 \text{ di gas naturale} \\
 1102 \text{ (kg di carbone)} / 460 \text{ (kg di N)} &= 2,396 \text{ kg di carbone} \\
 4640-6960 \text{ (kWh)} / (460 \text{ kg di N)} &= 10,09-15,13 \text{ kWh}
 \end{aligned}$$

Lasciamo al lettore il “piacere” del calcolo dei costi dei singoli concimi minerali ai prezzi correnti dell’energia.

3. CARBONIO ORGANICO E FERTILITÀ DEL SUOLO

Per contrastare efficacemente la perdita di fertilità dei terreni occorre agire sulla dinamica del carbonio organico del suolo (SOC, *soil organic carbon*) che, tuttavia, richiede una profonda conoscenza dei fattori fisico-chimici, biochimici, microbiologici e ambientali che controllano questo complesso processo (Zdruli et al., 2004). Questi fattori agiscono sul SOC svolgendo un ruolo diverso a seconda della scala dello studio: globale, continentale, regionale, ecc. (Viscarra Rossel et al., 2019). Su scala globale, il principale fattore che controlla la distribuzione e la dinamica del SOC è il clima (Lal, 2004). Fino ad ora, i fattori climatici sono stati ritenuti stabili, ma oggi questa affermazione è chiaramente cambiata. Su scala continentale, e ancora più specificamente su scala regionale, dove il clima agisce in modo uniforme, i controlli specifici per regione influenzano le distribuzioni e dinamiche locali del SOC. Di conseguenza, quando questa specificità regionale non è adeguatamente considerata, il rischio reale è quello di diminuire gli sforzi globali per contenere le perdite SOC. In altre parole, mentre i problemi sono su scala globale, le soluzioni devono essere trovate a livello locale. I ricercatori sono chiamati a trovare soluzioni, a contrastare i processi che guidano il declino della sostanza organica (SOM, *soil organic matter*) sia rispondere al paradigma della sostenibilità basato su aspetti sociali, economici e ambientali. Tra le diverse soluzioni possibili, stimolare il recupero e il riciclo nel terreno di biomasse ricche di carbonio organico (OC, *organic carbon*) e nutrienti provenienti dalle filiere di recupero dei rifiuti organici è la più promettente. Nelle società moderne, caratterizzate da un alto grado di urbanizzazione, i rifiuti organici rappresentano una potenziale fonte di OC e di sostanze nutritive. Tuttavia, per promuovere un razionale, efficace e sicuro riciclo dei rifiuti organici, è necessario modificare i nostri modelli di sviluppo passando dall'economia lineare a quella circolare. Nelle quattro fasi del modello di sviluppo lineare (prendere, fare, usare e smaltire), la fase di smaltimento ostacola la naturale chiusura del ciclo del materiale: il C organico residuo e i nutrienti nei rifiuti vengono collocati in discarica o termovalorizzati e non possono tornare nel terreno. Al contrario, il modello di economia circolare comporta lo sviluppo di nuove filiere produttive dedicate al recupero di sostanza organica e nutrienti dagli scarti, piuttosto che il loro smaltimento, e la conversione in materie prime e prodotti a base biologica. Nel modello di economia circolare, la quarta fase è attivata sul riciclo e permette il recupero delle risorse come fertilizzanti, promuovendo la chiusura dei cicli del C organico e delle sostanze nutritive nel suolo. Percorso che soddisfa pienamente i principi dell'ecologia e la sostenibilità delle risorse nella sua piena accezione.

Le tipologie di biomasse maggiormente prodotte, con previsioni di ulteriore crescita nei prossimi anni, sono date dalla frazione organica proveniente dalla raccolta differenziata dei rifiuti solidi urbani (FORSU, Frazione Organica Residui Solidi Urbani) e dai fanghi di depurazione (SS, *sewage sludge*), provenienti dagli impianti di trattamento delle acque reflue urbane.

La FORSU prodotta annualmente nell'UE è stimata intorno a 88 Mt, che è salita a circa 96 Mt nel 2020 (ISPRA, 2020). Questa frazione contiene principalmente carboidrati, proteine e lipidi ed è una buona materia prima per il compostaggio e i processi di digestione anaerobica. Un compost tipico derivato da trattamento della FORSU ha un contenuto di OC del 22%, di N 2,2% e C/N 10 (Grigatti et al., 2014; Ciavatta et al., 2022).

La produzione di SS dell'Unione Europea (UE) nel 2008 ha raggiunto circa 10 milioni di tonnellate (Mt) di sostanza secca (Milieu, 2008). In Italia, Eurostat (2014) ha stimato una produzione di circa 1,1 Mt di sostanza secca. Utilitalia (2017) ha riportato che oltre il 50% dei SS analizzati aveva un contenuto di OC > 30%, di N > 4,5% e di P > 1,5% (dati espressi sulla sostanza secca). Questi rifiuti sono e potranno essere di grande interesse agronomico come vera e propria fonte di OC e di nutrienti per contribuire a limitare il progressivo degrado del suolo e consentire una produzione più sostenibile delle colture.

La quantità di rifiuti prodotti annualmente e potenzialmente disponibili suggerisce l'opportunità di predisporre, laddove possibile, un piano sostenibile per il recupero e il riciclo di questi materiali a fini agronomici (Clapp et al., 2007). Tuttavia, persistono ancora molti dubbi sul riciclo agronomico di queste biomasse, legati al loro contenuto di contaminanti (EFAR, 2018). Il contenuto di elementi potenzialmente tossici, contaminanti organici, micro e nanoplastiche e microrganismi sono gli aspetti critici da affrontare un uso agronomico sicuro di queste biomasse (Arcadis, 2021; Pivato et al., 2022). Gli obiettivi principali sono: recuperare l'OC, che riduce il declino della sostanza organica del suolo (SOM), e recuperare i nutrienti, principalmente N e P, al fine di ridurre la nostra dipendenza dai fertilizzanti minerali ottenuti impiegando risorse non rinnovabili. Solo in questo modo si può contribuire allo sviluppo di sistemi agricoli più sostenibili. Abbiamo a che fare con materiali che sicuramente hanno caratteristiche agronomiche significative insieme a potenziali contenuti di sostanze indesiderabili. Pertanto, la soluzione non è contrastare l'uso di questi materiali in agricoltura, applicando semplicemente il principio di precauzione, ma piuttosto dotandoci di soluzioni legislative che, intervenendo ove necessario, garantiscano la sicurezza del riciclo di queste biomasse in agricoltura. La valorizzazione delle risorse disponibili nell'area di coltivazione dovrebbero trovarsi all'interno dell'area stessa dei processi produttivi. Tutto ciò può anche aumentare la sostenibilità ambientale del riciclo

dei rifiuti, tenendo conto dei fattori regionali che regolano le dinamiche SOC al fine di massimizzare gli sforzi nel contrasto delle perdite SOC.

Gli impatti attesi sono riconducibili i) alle tecnologie in grado di migliorare la qualità delle biomasse dal punto di vista delle loro sicurezza e proprietà agronomiche, ii) a protocolli analitici che garantiscono la qualità dei fertilizzanti ottenuti riciclando i rifiuti organici, iii) alla pianificazione di ulteriori prove sul campo a medio e lungo termine per valutare l'effetto di questi materiali sulle proprietà dei suoli e sulla qualità dei prodotti alimentari e non ottenuti, iv) all'individuazione dei fertilizzanti organici più idonei e loro protocollo di distribuzione ottimale, da utilizzare in alternativa ai fertilizzanti minerali, v) alla riduzione della lisciviazione dell'azoto e dell'inquinamento delle falde, vi) alla riduzione delle emissioni gassose di N (NOx) in atmosfera, vii) all'aumento della salute del suolo e della diversità biologica, viii) al miglioramento della fertilità del suolo e della capacità di ritenzione idrica, ix) alla promozione dell'economia circolare con l'utilizzo di rifiuti prodotti in loco, x) alla mitigazione dei cambiamenti climatici, attraverso il miglioramento del sequestro del carbonio nel suolo.

La fertilizzazione del futuro non potrà non prestare attenzione agli apporti di C organico soprattutto negli areali del Paese dove la fertilizzazione minerale ha di fatto soppiantato l'organica, le monosuccessioni con cerealicole e le colture intensive hanno prevalso. È possibile affermare che la tecnica di fertilizzazione che ha preso piede a partire dagli anni '60-'70 è risultata nei fatti essere "strabica" guardando, per motivi spesso non imputabili al coltivatore, alla sola fonte minerale dei nutrienti, a scapito dell'apporto di sostanza organica.

4. RICERCA DI FONTI COMPLEMENTARI/ALTERNATIVE DI NUTRIENTI

La ricerca di altre fonti, complementari/alternative, di nutrienti nel solco chiaramente indicato dai principi dell'economia circolare dovrà rappresentare la stella polare. Le azioni da perseguire nell'immediato e nel medio-lungo termine devono essere rivolte a favorire tutti i trattamenti e processi che, a partire sostanzialmente da rifiuti, consentano ai materiali trattati di acquisire lo status di *End of Waste* (D.Lgs. 152/2006) e quindi di prodotto che nell'ambito del settore fertilizzanti dovranno fare riferimento alle norme di settore, dalla norma nazionale, il D.Lgs. 75/2010 e/o all'europea, il Reg. (UE) 2019/1009. Tali processi, inserendosi pienamente negli obiettivi dell'economia circolare, permetterebbero di recuperare nutrienti e carbonio (C) organico da reflui zootecnici, digestati e fanghi di depurazione, nel pieno rispetto della sicurezza, della salute dell'uomo e degli animali, della qualità del suolo, delle acque e

dell'ambiente (Arcadis, 2021; Pivato et al., 2022). In questi anni si è tergiversato troppo a tutti i livelli e non si è proceduto speditamente a dare corpo al recupero dei biosolidi per i materiali a base organica e dei fosfati da reflui di diversa origine per la produzione, ad esempio, di struvite ($\text{NH}_4\text{MgPO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$).

5. AZOTO DA FONTI RINNOVABILI

Recuperare biomasse di scarto/rifiuto per la produzione di fertilizzanti significa, innanzitutto, chiudere il ciclo degli elementi, oltre che avere un forte risparmio in termini energetici, oggi più che mai importante. Si tratta di un'attività che è connaturata da sempre con l'agricoltura stessa: si pensi al recupero delle deiezioni animali, dal letame alle polline, che hanno rappresentato il pilastro della fertilizzazione delle colture per millenni. Ma che anche nell'era moderna, con l'industrializzazione del settore fertilizzanti, gran parte dei fertilizzanti minerali e soprattutto organici sono i prodotti di processi di trattamento e recupero di sottoprodotti o rifiuti di settori produttivi, fondamentalmente agro-alimentare, agro-industriale e industriale. La trasformazione di rifiuti in prodotti è nota e praticata da sempre.

Pertanto, ipotizzando che per ogni 10 t (10.000 kg) di N da fonti non rinnovabili apportate ai suoli con concimi di sintesi, per esempio urea, il calcolo del risparmio energetico sarebbe:

$$\begin{aligned} 1,07-1,25 \text{ (m}^3 \text{ di gas naturale)} \times 10.000 \text{ (kg di N)} &= 10.700-125.000 \text{ m}^3 \text{ di} \\ &\quad \text{gas naturale} \\ 2,396 \text{ (kg di carbone)} \times 10.000 \text{ (kg di N)} &= 23.960 \text{ kg di carbone} \\ 10,09-15,13 \text{ (kWh)} \times 10.000 \text{ (kg di N)} &= 100.900-151.300 \text{ kWh} \end{aligned}$$

In termini economici, per pura curiosità, 10 t di N trasformate in t di urea:

$$10 \text{ (t di N)} / 0,46 \text{ (t di N x t di urea 46\%)} = 21,74 \text{ t di urea 46\% N}$$

In base alle quotazioni di mercato per forniture industriali dell'urea dell'agosto 2022 che oscillavano fra 440-770 euro/t, avremmo:

$$21,74 \text{ (t di urea 46\% N)} \times 440-770 \text{ (euro/t urea 46\% N)} = 9.566-16.740 \text{ euro}$$

Se il calcolo riguardasse il nitrato ammonico (NA) 26% N, sempre in base alle quotazioni di mercato per forniture industriali dell'agosto 2022 che oscillavano fra 665-675 euro/t, avremmo:

$$10 \text{ (t di N)} / 0,26 \text{ (t di N x t di NA 26\% N)} = 38,46 \text{ t di NA 26\% N}$$

$$38,46 \text{ (t di NA 26\% N)} \times 665-675 \text{ (euro/t NA 26\% N)} = 25.576-25.961 \text{ euro}$$

Infine, se il calcolo riguardasse il solfato ammonico (SA) 21% N, sempre in base alle quotazioni di mercato per forniture industriali dell'agosto 2022 che oscillavano fra 560-580 euro/t, avremmo:

$$10 \text{ (t di N)} / 0,21 \text{ (t di N x t di SA 21\% N)} = 47,62 \text{ t di SA 21\% N}$$

$$47,62 \text{ (t di SA 21\% N)} \times 560-580 \text{ (euro/t SA 21\% N)} = 26.667-27.620$$

euro

6. RECUPERO NUTRIENTI DALLE ACQUE REFLUE

In questa ottica, anche il recupero delle acque reflue di depurazione, in particolare degli impianti che trattano acque reflue civili/urbane, porterebbe molti benefici in termini di recupero di preziosa risorsa idrica e di nutrienti che la siccità del 2022 ha mostrato in tutta la sua gravità. Oggi si stima che solo il 5% di queste acque venga riutilizzata in agricoltura. Tuttavia, per consentirlo al passo con i tempi, occorre rivedere la normativa (Decreto Ministeriale 12 giugno 2003, n. 185) tenga conto degli aggiornamenti tecnico-scientifici degli ultimi decenni in campo analitico, agronomico e ambientale. A tale scopo, il nuovo Regolamento europeo 2020/741 è stato salutato con fiducia perché dovrebbe agevolare il riuso delle acque reflue e quindi anche il recupero di nutrienti. Una sorta di “fertilizzazione *light*” delle colture, tenuto conto della concentrazione degli elementi nelle acque depurate, ma estremamente importante in termini quali-quantitativi. Crediamo che non ci si possa più permettere, sotto il profilo tecnico ed etico, di irrigare le colture da seme (proteoleaginose), da foraggio e le arboree con acqua potabile (*sic!*). Ovviamente, l'utilizzo dovrà seguire rigidi protocolli e prescrizioni che l'agricoltore dovrà osservare con scrupolo e che le autorità dovranno vigilare, così come accade nei Paesi dove già questa prassi è consolidata.

7. EFFICIENZA DELLE UNITÀ FERTILIZZANTI

Un'altra pietra miliare della fertilizzazione futura riguarda l'aumento dell'efficienza delle unità fertilizzanti (UF). In questi anni lo si è fatto, ma non basta, perché occorre un deciso cambio di passo. La fertilizzazione si è evoluta con l'aggiornamento tecnico-scientifico in risposta alla richiesta di aumentare l'ef-

ficienza delle UF, la cosiddetta *Nutrient Use Efficiency* (NUE) soprattutto per azoto e fosforo.

Occorre spingere verso lo sviluppo di prodotti più performanti, più collegati alla *bio-based economy* e maggiormente aderenti agli stadi fenologici delle colture. I prodotti devono garantire la cessione controllata degli elementi, coniugando biodisponibilità verso le radici per un tempo congruo. L'obiettivo va raggiunto con modalità differente a seconda dei nutrienti.

Per l'azoto, ad esempio, con prodotti a base organica, inibitori dell'ureasi e della nitrificazione, concimi ricoperti a cessione controllata e organo-minerali.

Per il fosforo il miglioramento della NUE si può ottenere con concimi che proteggano le forme minerali solubili, ad esempio dei perfosfati, attraverso la ricopertura dei granuli con membrane a cessione controllata dalla temperatura (Alessio Vernì e Ciavatta, 2016). L'impiego di concimi organici e organo-minerali potrà contribuire a un rilascio controllato dalla stessa complessità molecolare della frazione organica e dalla cinetica dei processi di mineralizzazione. I concimi organo-minerali dovranno essere formulati con l'obiettivo di rendere massima la NUE e di fornire i nutrienti in modo coerente con la fase fenologica della coltura.

In questo ambito possiamo verificare come il prof. Paolo Sequi avesse le idee molto chiare sin dall'inizio della sua carriera (1961). Suoi alcuni brevetti sul miglioramento della nutrizione fosfatica e ferrica (figg. 2 e 4) e sull'interazione fra sostanze umiche e fosfati (fig. 3) e sostanze umiche e microelementi (fig. 1). Temi dopo sessant'anni ancora di stretta attualità.

8. TECNICHE DI FERTILIZZAZIONE

Un altro aspetto riguarda le tecniche di fertilizzazione che sono di stretta competenza agronomica. L'agricoltura di precisione è una realtà, ma andrà sempre più sviluppata. Le tecniche di concimazione a rateo variabile, oltre a quelle localizzate, si stanno espandendo. Avere fertilizzanti maggiormente efficienti, a parità di produzioni quali-quantitative, significa usare meno risorse e minimizzare il carico ambientale.

9. SVILUPPO DI NUOVI FERTILIZZANTI

Un ulteriore aspetto, che potrebbe essere anche il primo, riguarda la ricerca e lo sviluppo di nuovi fertilizzanti. Il miglioramento della NUE deve prevedere diverse linee d'azione, tra le quali: ricoprenti, possibilmente *bio-based*, inibito-

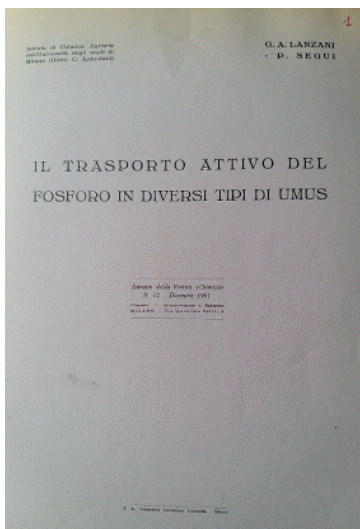


Fig. 1 Prima pubblicazione del prof. Sequi, dicembre 1961, sul trasporto attivo dei fosfati e sulle sostanze umiche: ancora oggi temi centrali della fertilità

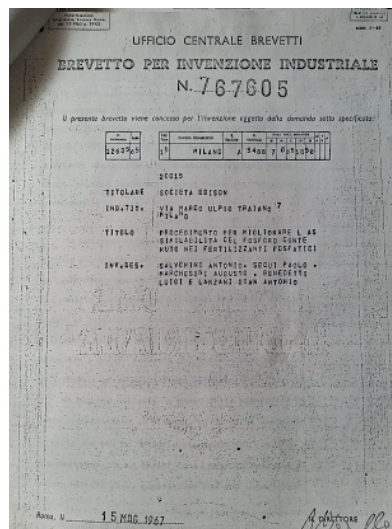


Fig. 2 Brevetto del 1967 per migliorare l'efficienza del fosforo contenuto nei fertilizzanti fosfatici: altro tema di estrema attualità

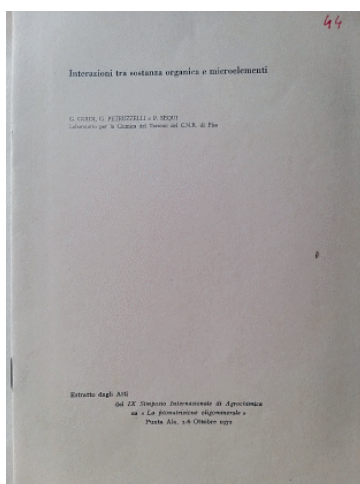


Fig. 3 Interazione fra sostanze umiche e microelementi

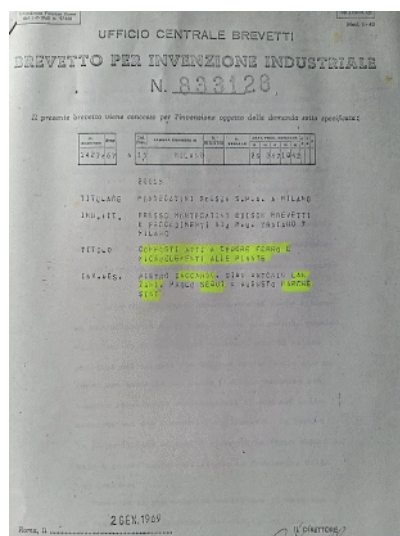


Fig. 4 Brevetto del 1969 per migliorare l'assimilabilità del ferro nei vegetali

ri enzimatici, nuovi formulati organo-minerali, biostimolanti vegetali, il recupero del carbonio organico e dei nutrienti nell'alveo dell'economia circolare. Tutto ciò richiede l'impegno di ricercatori in stretta sinergia fra istituzioni pubbliche e private di ricerca e imprese.

Tali obiettivi si possono raggiungere già, applicando sia le norme vigenti di settore, nazionali ed europee, sia con interventi normativi che, tuttavia, dovranno essere più rapidi di quanto non lo siano ora.

10. ESPRESSIONE DEGLI ELEMENTI: PASSATO ANCORA PRESENTE E FUTURO

Nel 2020 è stato pubblicato un interessante articolo – *Pervasive use of P_2O_5 , K_2O , CaO , MgO , and basic cations, none of which exist in soil* (Lambers e Barrow, 2020) – che tratta, talvolta anche in modo piuttosto ironico, il permanere nella letteratura e anche nell'espressione dei titoli dei nutrienti nei fertilizzanti di queste espressioni che di scientifico non hanno proprio nulla. Quando Carl Sprengel e Justus von Liebig (Sprengel, 1828; Jungk, 2009) fecero il loro lavoro innovativo sulla nutrizione delle piante, le conoscenze sulla natura chimica dei nutrienti che gli autori dimostrarono essere necessari alle piante erano molto scarse. Justus von Liebig basò in gran parte la sua presentazione delle sostanze chimiche sulla dottrina di Berzelius (1814). Sfortunatamente, gli usi arcaici si sono protratti nella scienza del suolo molto tempo dopo il loro tempo. Purtroppo, molti autori indicano ancora gli elementi sottoforma di ossidi: il calcio come CaO (che non esiste nel suolo) e il fosfato come P_2O_5 . Il fosfato (PO_4), che esiste, dovrebbe sicuramente essere preferito, o in alternativa l'elemento (P), che molti in America hanno già adottato. L'elemento P corrisponde a 2,29 di P_2O_5 e a 3,06 di PO_4 (Leeper, 1948). Dopo oltre 70 anni che Leeper pubblicò il suo libro di testo che divenne la bibbia nella disciplina, P_2O_5 , K_2O e CaO non esistono ancora nel suolo, ma i termini continuano a essere usati in letteratura. E questo non va bene. È comprensibile che alle aziende, specie di fertilizzanti, convenga esprimere i titoli in P_2O_5 sulle etichette, poiché danno l'impressione di vendere molto più di quanto non ci sia nella confezione. È un mistero, tuttavia, perché i laboratori di analisi e gli scienziati del suolo persistano nel mostrare i loro dati come era prassi nel diciannovesimo secolo. È venuto il tempo di cambiare definitivamente questo vetusto e fuorviante metodo di esprimere gli elementi della fertilità: o si utilizza il simbolo chimico come per l'azoto, oppure le forme chimiche di assorbimento.

RIASSUNTO

Trattare le problematiche della fertilità dei suoli e dei fertilizzanti, oggi assume un rilievo ancora più attuale per la maggiore coscienza che cittadini e Istituzioni hanno della risorsa suolo, delle sue funzioni vitali, del ruolo chiave nella produzione di alimenti e della conservazione di una risorsa difficilmente rinnovabile.

La fertilizzazione, strumento indispensabile per la nutrizione equilibrata dei vegetali, deve rispondere anche alla salvaguardia della salute dell'uomo, degli animali e dell'ambiente, nell'alveo dell'economia circolare.

Per dare risposte concrete occorre intervenire su:

- ricerca di fonti complementari di nutrienti nel solco dell'economia circolare: favorire i processi che, a partire da materiali di scarto, consentano ai materiali trattati di acquisire lo status di prodotti *end of waste*, con recupero di nutrienti e C organico;
- aumento dell'efficienza delle unità fertilizzanti: soprattutto per N e P, sviluppare prodotti più performanti, collegati alla *bio-based economy* e agli stadi fenologici delle colture;
- tecniche di fertilizzazione: a partire dall'agricoltura di precisione, adottare tecniche a rateo variabile, localizzate, ecc.;
- ricerca e sviluppo di nuovi fertilizzanti, come: ricoprenti *bio-based*, inibitori enzimatici, nuovi formulati organo-minerali, biostimolanti vegetali, recupero di C organico e nutrienti, ecc.

L'impegno dei ricercatori, così come la loro stretta sinergia con le imprese, sarà determinante affinché si abbia successo.

Il professor Paolo Sequi ha speso molte delle sue energie di ricercatore, docente e scienziato su questi temi sin dall'inizio della sua carriera. Grazie mille Paolo!

ABSTRACT

Today, the problems of soil fertility and fertilizers take more importance due to greater awareness that citizens and Institutions have towards the soil, the protection of its vital functions, the crucial role in food production, and the conservation of a hardly renewable resource.

Fertilization, a fundamental tool for a balanced nutrition of plants, must also respond to safeguard the health of humans, animals, and the environment, in the context of the circular economy.

To give concrete answers, actions are needed on:

- search for complementary sources of nutrients in the wake of the circular economy: favor processes that, starting from waste materials, allow these treated materials to acquire the status of "end of waste" product, with recovery of nutrients and organic C;
- increase the efficiency of fertilizer units: especially for N and P, develop more performing products, more connected to the bio-based economy and to the phenological stages of crops;
- fertilization techniques: starting from precision agriculture, adopt variable rate fertilization techniques, localized one, etc.;

- research and development of new fertilizers: e.g., bio-based coatings, enzyme inhibitors, new organo-mineral formulations, plant biostimulants, recovery of organic C and nutrients, etc.

The commitment of researchers, as well as their close synergy with companies, will be crucial for success.

Professor Paolo Sequi spent a lot of his energy as researcher, teacher and scientist on these topics since at the beginning of his career. Thanks a lot, Paolo!

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- ALESSIO VERNÌ M., CIAVATTA C. (2016): *Fertilizzanti: commodities e nuove tipologie*, in *Fertilizzazione sostenibile: Principi, tecnologie ed esempi operativi*, a cura di Carlo Grignani, Edagricole Università e Formazione, cap. 2, pp. 9-55, Bologna. ISBN 978-88-50-5445-1.
- ARCADIS (2021): *Contaminants in fertilisers: Assessment of the risk from their presence and socio-economic impacts of a possible restriction under REACH*, Final Report under contract for European Commission 070201/2019/817112/SER/ENV.B2.
- BERENDSEN, R.L., PIETERSE, C.M., BAKKER, P.A. (2012): *The rhizosphere microbiome and plant health*, «Trends in Plant Science», 17, pp. 478-486.
- CIAVATTA C., CENTEMERO M., TOSELLI M., ZACCONE C., SENESI N. (2022): *Compost Production, Analysis and Applications in Agriculture*, Chapter 13, in *Multi-scale Biogeochemical Processes in Soil Ecosystems: Critical Reactions and Resilience to Climate Changes*, (Yang Y., Keiluweit M., Senesi N., Xing B.), Part IV - Mitigation of Greenhouse Gas Emission and Improvement of Ecosystem Resilience. Wiley - IUPAC Series on Biophysico-Chemical Processes in Environmental Systems, volume 5, pp. 297-321.
- CLAPP C.E., HAYES M.H.B., CIAVATTA C. (2007): *Organic wastes in soils: Biogeochemical and environmental aspects*, «Soil Biol. Biochem.», 39 (6), pp. 1239-1243. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2006.12.001>
- DECRETO LEGISLATIVO 27 gennaio 1992, n. 99. *Attuazione della direttiva n. 86/278/CEE concernente la protezione dell'ambiente, in particolare del suolo, nell'utilizzazione dei fanghi di depurazione in agricoltura*, della G.U. della Repubblica italiana n. 38 del 15 febbraio 1992, Suppl. Ordinario n. 28.
- DECRETO LEGISLATIVO 29 aprile 2010, n. 75. *Riordino e revisione della disciplina in materia di fertilizzanti, a norma dell'articolo 13 della legge 7 luglio 2009, n. 88*, G.U. della Repubblica italiana n. 126 del 26 maggio 2010.
- DECRETO LEGISLATIVO 3 aprile 2006, n. 152. *Norme in materia ambientale*, G.U. della Repubblica italiana n. 88 del 14 aprile 2006.
- Decreto MINISTERIALE 12 giugno 2003, n. 185 Regolamento recante norme tecniche per il riutilizzo delle acque reflue in attuazione dell'articolo 26, comma 2, del D.Lgs. 11 maggio 1999, n. 152. (G.U. 23 luglio 2003, n. 169).
- ECONOMIA CIRCOLARE (2020): https://ec.europa.eu/environment/circular-economy/pdf/new_circular_economy_action_plan.pdf
- EFAR (2018): *Public Health Risk Assessment of Sludge land Spreading*, Final report N° DRC-07-81117-09289-18th C, INERIS, July 2008, pp. 1-32.
- EUROSTAT (2014): *Eurostat regional yearbook 2014*, ISBN 978-92-79-38906-1.

- GRIGATTI M., CAVANI L., MARZADORI C., CIAVATTA C. (2014): *Recycling of dry-batch digestate as amendment; soil C and N dynamics and ryegrass nitrogen utilization efficiency*, «Waste and Biomass Valorization», 5, pp. 823-833.
- ISPRA (2020): Rapporto Rifiuti Urbani – Edizione 2019. Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale, ISPRA, Rapporti 313/2019, ISBN 978-88-448-0971-3.
- JUNGK A. (2009): *Carl Sprengel-the founder of agricultural chemistry: a re-appraisal commemorating the 150th anniversary of his death*, «J. Plant Nutr. Soil Sci.», 172, pp. 633-636. <https://doi.org/10.1002/jpln.200900065>
- LAL R. (2004): *Soil Carbon Sequestration Impacts on Global Climate Change and Food Security*, «Science», 304, pp. 1623-1627.
- LAMBERS H., BARROW N.J. (2020): *Pervasive use of P_2O_5 , K_2O , CaO , MgO , and basic cations, none of which exist in soil*, «Biology and Fertility of Soils», 56, pp. 743-745. <https://doi.org/10.1007/s00374-020-01486-5>
- LEEPER G.W. (1948): *Introduction to soil science*, Melbourne University Press, Parkville.
- LI L., LI S.-M., SUN J.-H., ZHOU L.-L., BAO X.-G., ZHANG H.-G., ZHANG F.-S. (2007): *Diversity enhances agricultural productivity via rhizosphere phosphorus facilitation on phosphorus-deficient soils*, «Proc. Natl. Acad. Sci.» USA, 104, pp. 11192-11196.
- MILIEU LTD, WRC, RPA AND DG ENVIRONMENT (2008): *Environmental, Economic and Social Impacts of the Use of Sewage Sludge on Land*, Final report for the European Commission.
- PIVATO A., BEGGIO G., BONATO T., BUTTI L., CAVANI L., CIAVATTA C., DI MARIA F., FERRARA R., GRENNI P., JOHANSSON O., MAGGI L., MAZZI A., PENG W., PERES F., PETERSSON M., SCHIEVANO A., VARGHESE G. (2022): *The role of the precautionary principle in the agricultural reuse of sewage sludge from urban wastewater treatment plants*, «Detritus», 19, V-XII. <https://doi.org/10.31025/2611-4135/2022.15202>
- 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. G.U. dell'Unione europea L 170 del 25.6.2019.
- REGOLAMENTO (UE) 2020/741 del Parlamento Europeo e del Consiglio del 25 maggio 2020 recante prescrizioni minime per il riutilizzo dell'acqua. G.U. dell'Unione europea L 177 del 05.06.2020.
- SPRENGEL C. (1828): *Von den Substanzen der Ackerkrume und des Untergrundes (about the substances in the plow layer and the subsoil)*, «J. für Technische und Ökonomische Chemie», 2, pp. 397-421.
- UTILITALIA (2017): *Utilizzo dei fanghi di depurazione in agricoltura. Indagine Utilitalia sui fanghi prodotti dal trattamento delle acque reflue urbane*, Coordinamento scientifico, Giuseppe Mininni. Gruppo di lavoro Utilitalia, Paolo Giacomelli, Elena Mauro, Bernardo Piccioli. Roma.
- VISCARRA ROSSEL R.A., JUHWAN L., BEHRENS T., ZHONGKUI L., BALDOCK J., RICHARDS A. (2019): *Continental-scale soil carbon composition and vulnerability modulated by regional environmental controls nature research*, «Nature Geoscience», 12, pp. 547-552.
- ZDRULI P., JONES R.J.A., MONTANARELLA L. (2004): *Organic Matter in the Soils of Southern Europe*, European Soil Bureau Technical Report, EUR 21083 EN (2004), pp. 16, Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg.