



agriCulture



# "Fonti alternative di azoto",

F. Adani

**GRUPPO RICICLA**

*Università degli Studi di Milano - DiSAA*

*Agriculture and Environment Lab. ; Biomass and Agroenergy Lab. ; Bioeconomy and Green Chemistry Lab.*

*Via Celoria, 2 20133 Milano, Tel. 02-50316546, Fax. 02-50316521*

*Web site: <http://users.unimi.it/ricicla/>*

*Adjunct Professor, National Center for International Research of BioEnergy, Science and Technology (iBEST), China*

*Agricultural University (China)*

**GRUPPO RICICLA**

# LA RIVOLUZIONE VERDE



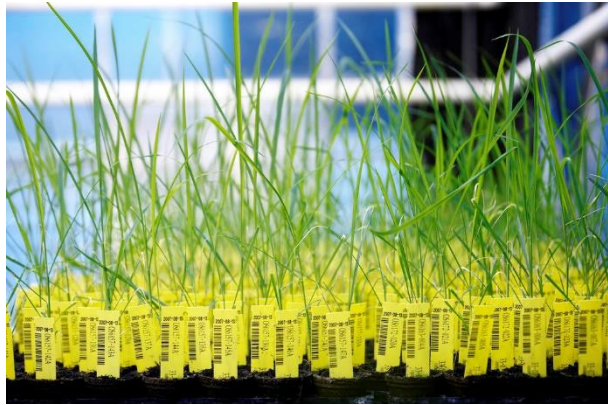
Iniziata nel 1944 in Messico

Approccio scientifico all'agricoltura

Nobel per la pace a Norman  
Bourlag (1970)



# LA RIVOLUZIONE VERDE: IN COSA CONSISTE?



Miglioramento genetico



Uso massiccio di  
fertilizzanti e pesticidi



Meccanizzazione  
dell'agricoltura

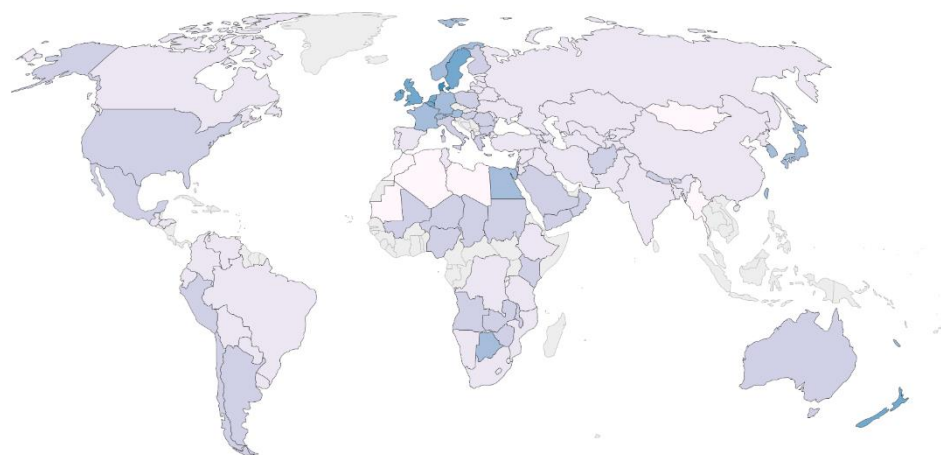
# LA RIVOLUZIONE VERDE: QUALI EFFETTI HA AVUTO?

Aumento enorme delle rese agricole in tutto il mondo

## Wheat yields, 1961

Average wheat yields, measured in tonnes per hectare per year.

Our World  
in Data



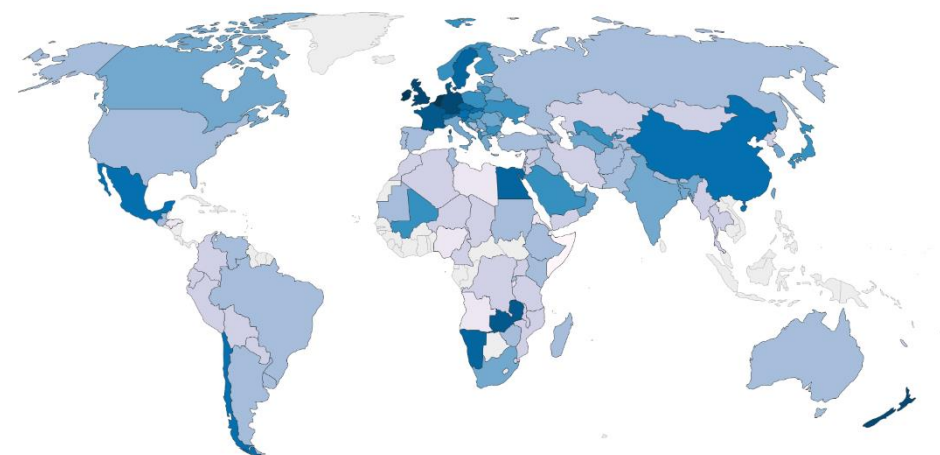
Source: UN Food and Agriculture Organization (FAO)

OurWorldInData.org/yields-and-land-use-in-agriculture/ • CC BY

## Wheat yields, 2014

Average wheat yields, measured in tonnes per hectare per year.

Our World  
in Data



Source: UN Food and Agriculture Organization (FAO)

OurWorldInData.org/yields-and-land-use-in-agriculture/ • CC BY

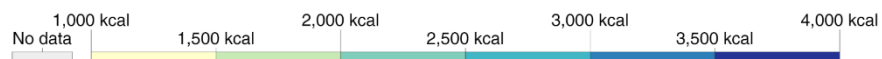
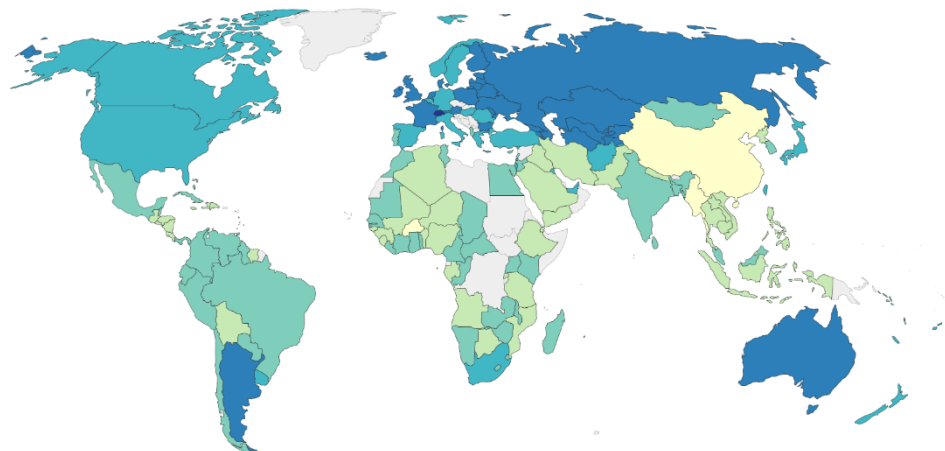
Dati FAOSTAT

# LA RIVOLUZIONE VERDE: QUALI EFFETTI HA AVUTO?

Ha permesso di sfamare una popolazione in crescita esponenziale

Daily per capita supply of calories, 1960

Our World  
in Data

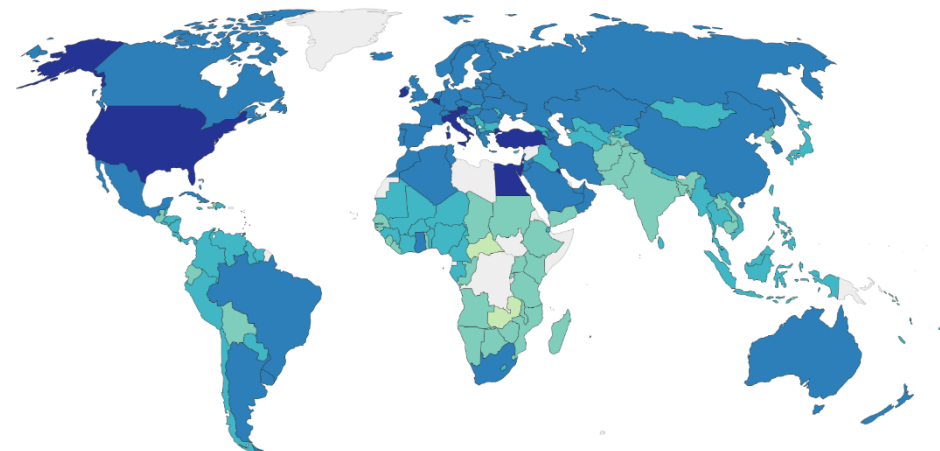


Source: FAO (2017) & various historical sources (see Sources tab)

OurWorldInData.org/food-per-person/ • CC BY

Daily per capita supply of calories, 2013

Our World  
in Data



Source: FAO (2017) & various historical sources (see Sources tab)

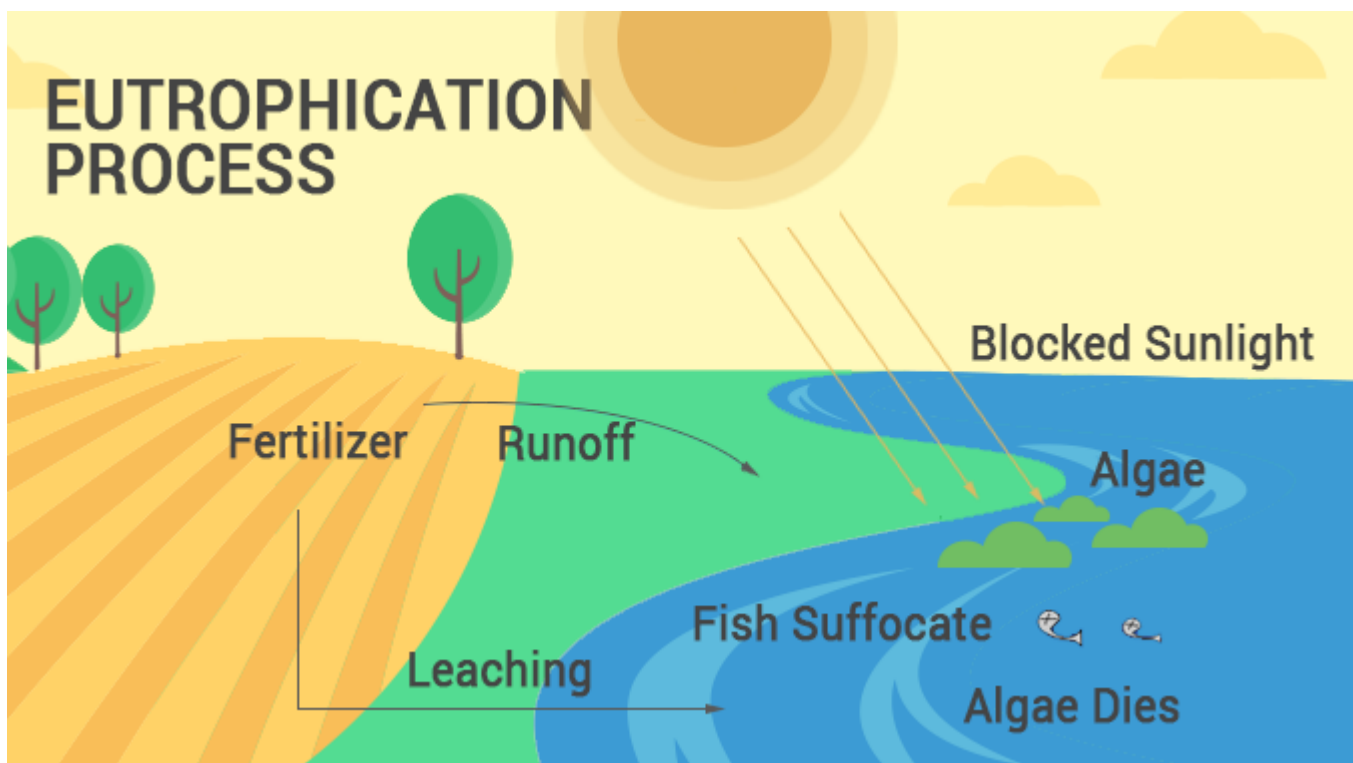
OurWorldInData.org/food-per-person/ • CC BY

Senza la Rivoluzione Verde nei paesi in via di sviluppo oggi i raccolti sarebbero del 22% inferiori e una disponibilità calorica *pro capite* del 14 % in meno

Dati FAOSTAT

# LA RIVOLUZIONE VERDE: QUALI PROBLEMI HA PORTATO?

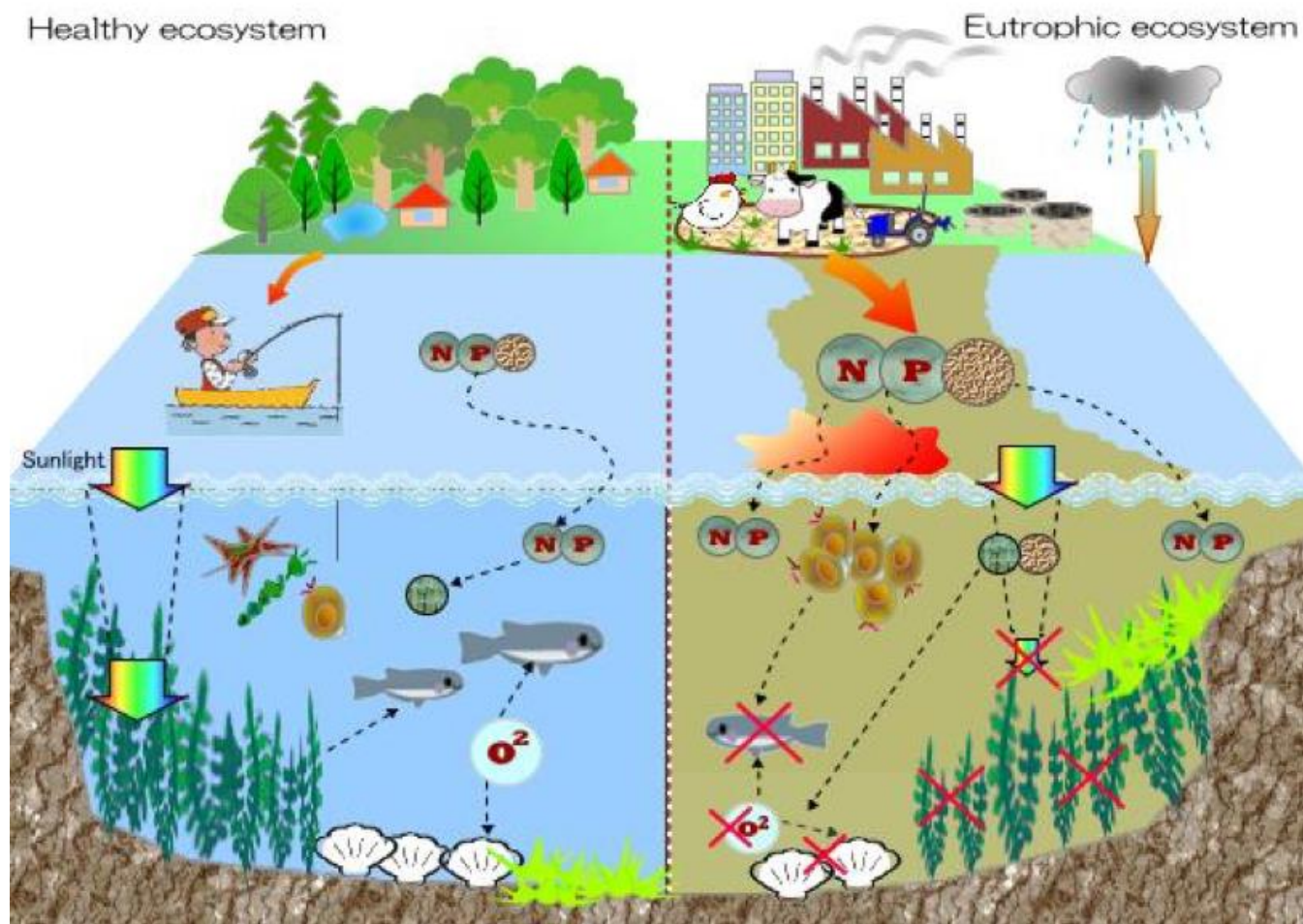
## 4-Inquinamento delle risorse idriche



Eutrofizzazione da azoto e fosforo



# COME FUNZIONA L'EUTROFIZZAZIONE?



L'eccesso di nutrienti provoca una iper proliferazione di alghe microscopiche



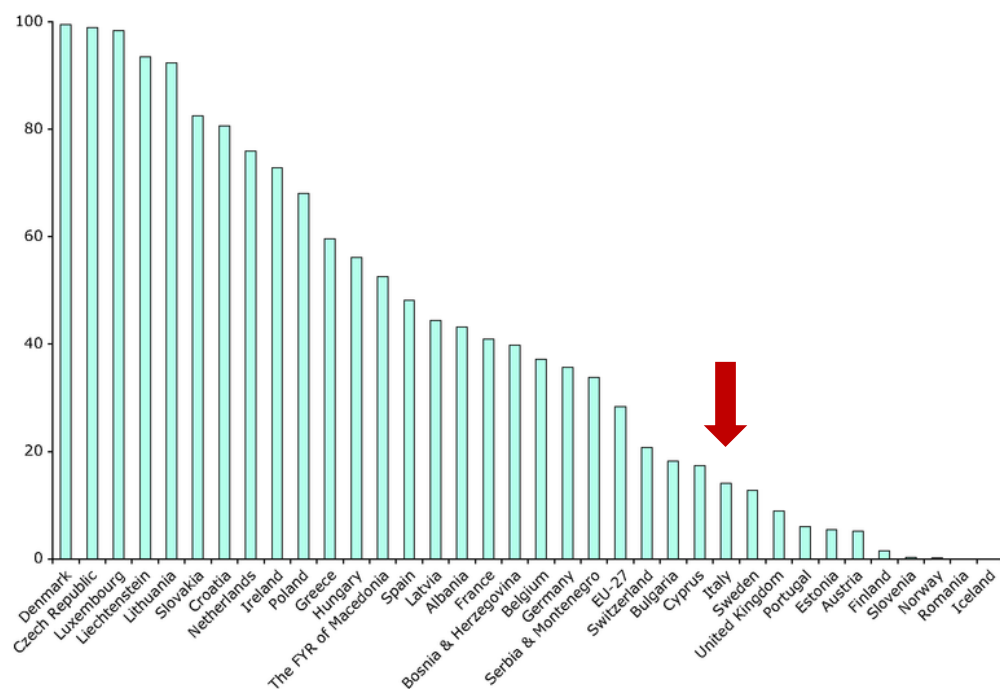
Quando le alghe microscopiche vengono mangiate dai batteri, che proliferano e consumano ossigeno



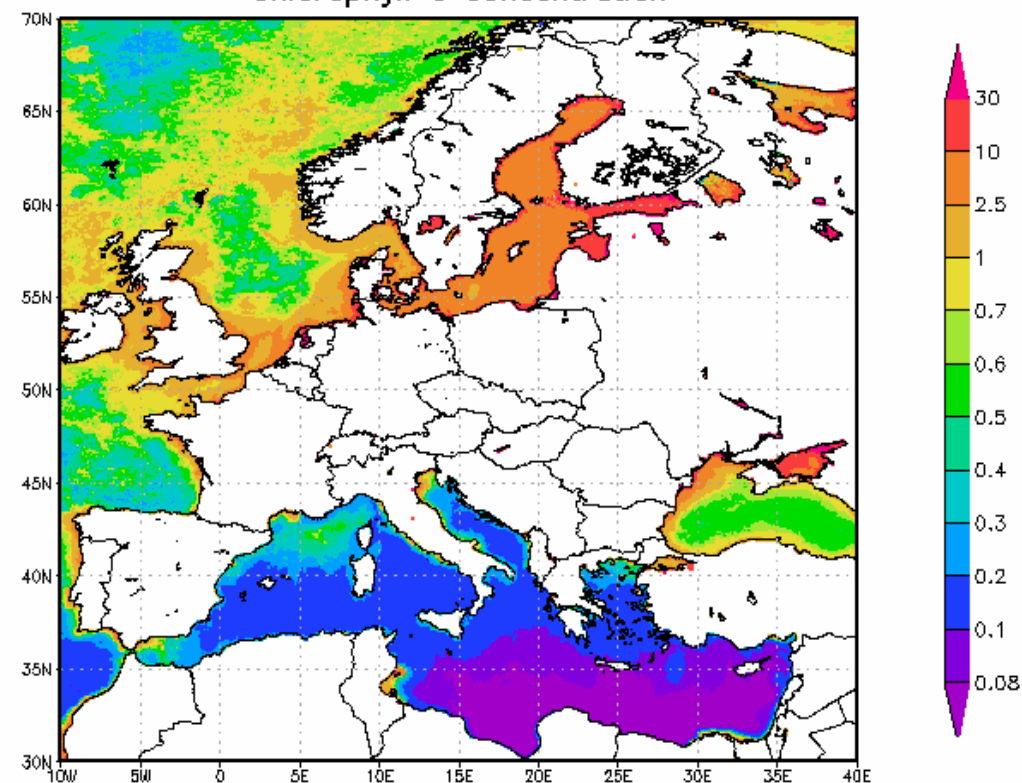
L'acqua diventa così povera di ossigeno che tutti gli organismi acquatici che ne dipendono muoiono. In più, l'acqua diventa torbida per le microalghe in sospensione, la luce non arriva sul fondo e le piante muoiono

# EUTROFIZZAZIONE: LE DIMENSIONI DEL PROBLEMA

Percentuale di ecosistemi a rischio eutrofizzazione per stato EU



[mg/m\*\*3] (Apr2005–Nov2005)  
Chlorophyll a concentration



GRADS: CDLA/IGES

2006-04-25-05:04

EU environmental agency

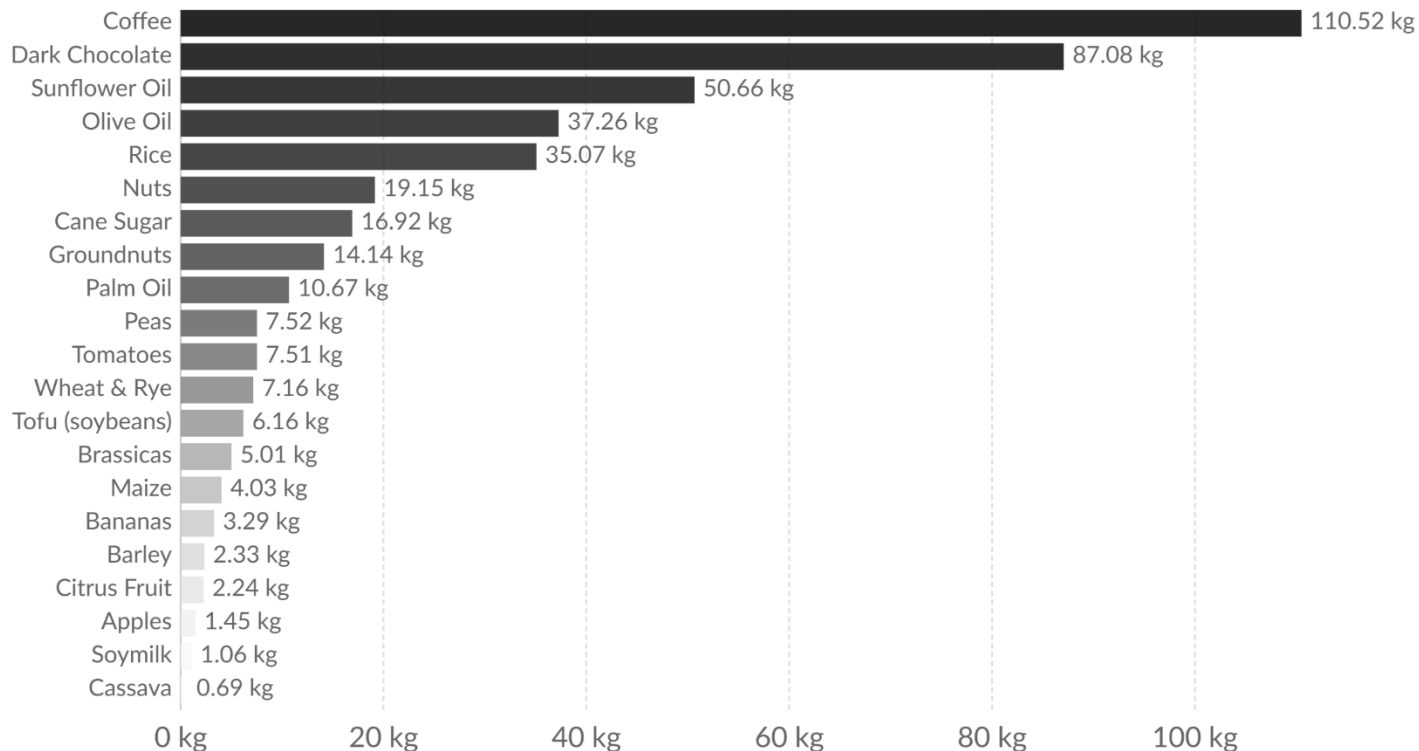


# EUTROFIZZAZIONE: LE COLTURE CHE INQUINANO DI PIÙ

## Eutrophying emissions per kilogram of food product

Eutrophying emissions represent runoff of excess nutrients into the surrounding environment and waterways, which affect and pollute ecosystems. They are measured in kilograms of phosphate equivalents (PO<sub>4</sub>eq).

Our World  
in Data



Source: Poore, J., & Nemecek, T. (2018). Reducing food's environmental impacts through producers and consumers.

Note: Data represents the global average eutrophying emissions from food products based on a large meta-analysis of food production covering 38,700 commercially viable farms in 119 countries.

OurWorldInData.org/environmental-impacts-of-food • CC BY

EU environmental agency

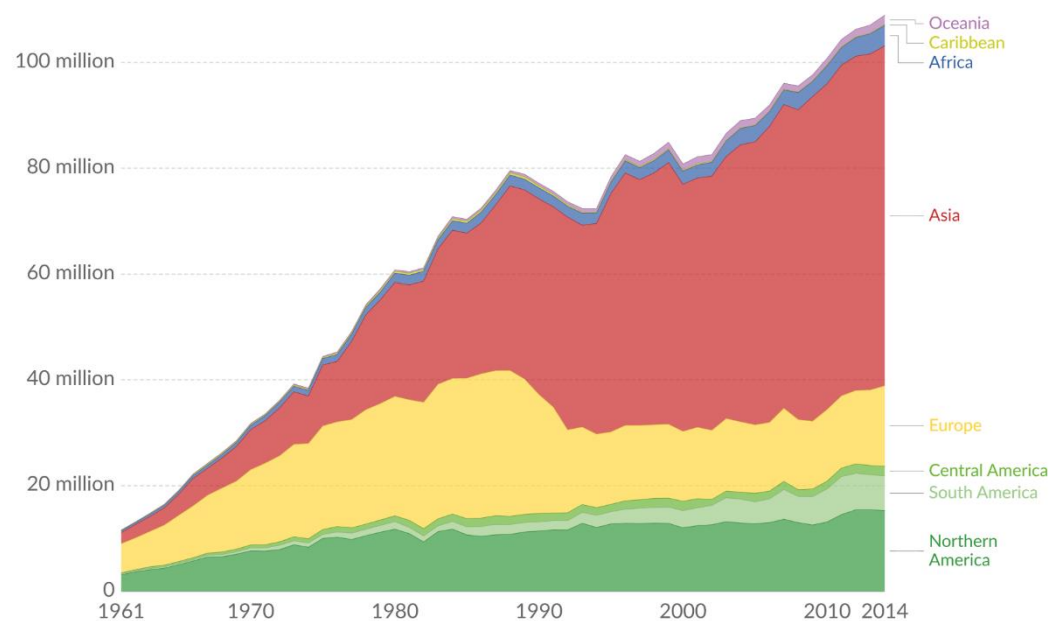
# L'AUMENTO DELL'USO DI FERTILIZZANTI DI SINTESI

I principali fertilizzanti utilizzati: azoto e fosforo

## Nitrogen fertilizer consumption

Total nitrogenous fertilizer consumption, measured in tonnes of total nutrient per year.

Our World  
in Data



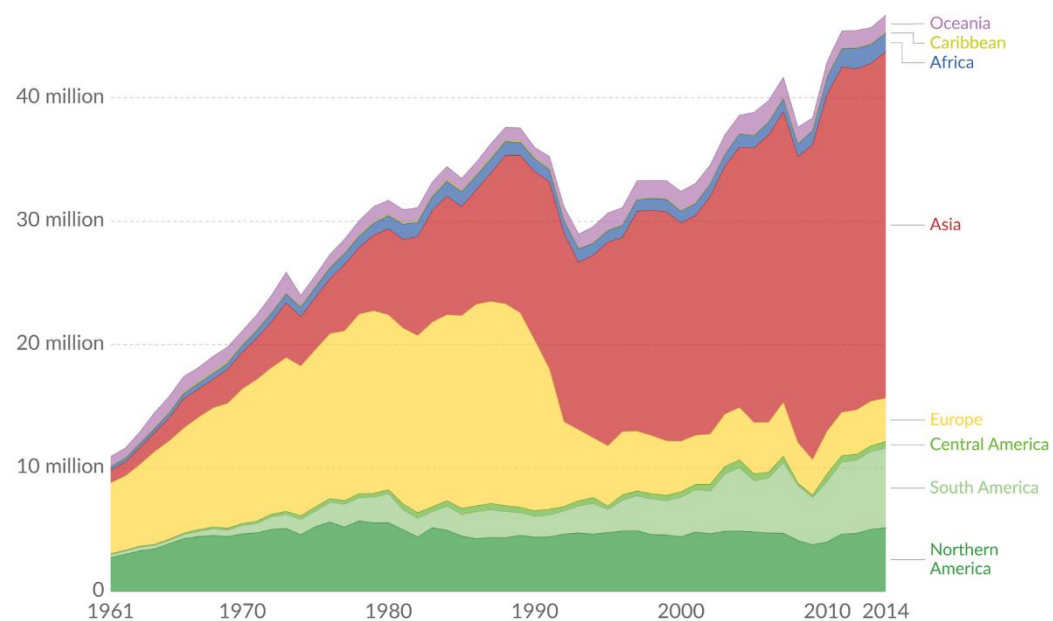
Source: UN Food and Agricultural Organization (FAO)

OurWorldInData.org/fertilizer-and-pesticides/ • CC BY

## Phosphate fertilizer consumption

Phosphate fertilizer production, measured in tonnes of total nutrient per year.

Our World  
in Data



Source: UN Food and Agricultural Organization (FAO)

OurWorldInData.org/fertilizer-and-pesticides/ • CC BY

C'è anche il potassio, ma il discorso è simile a quello del fosforo

Dati FAOSTAT

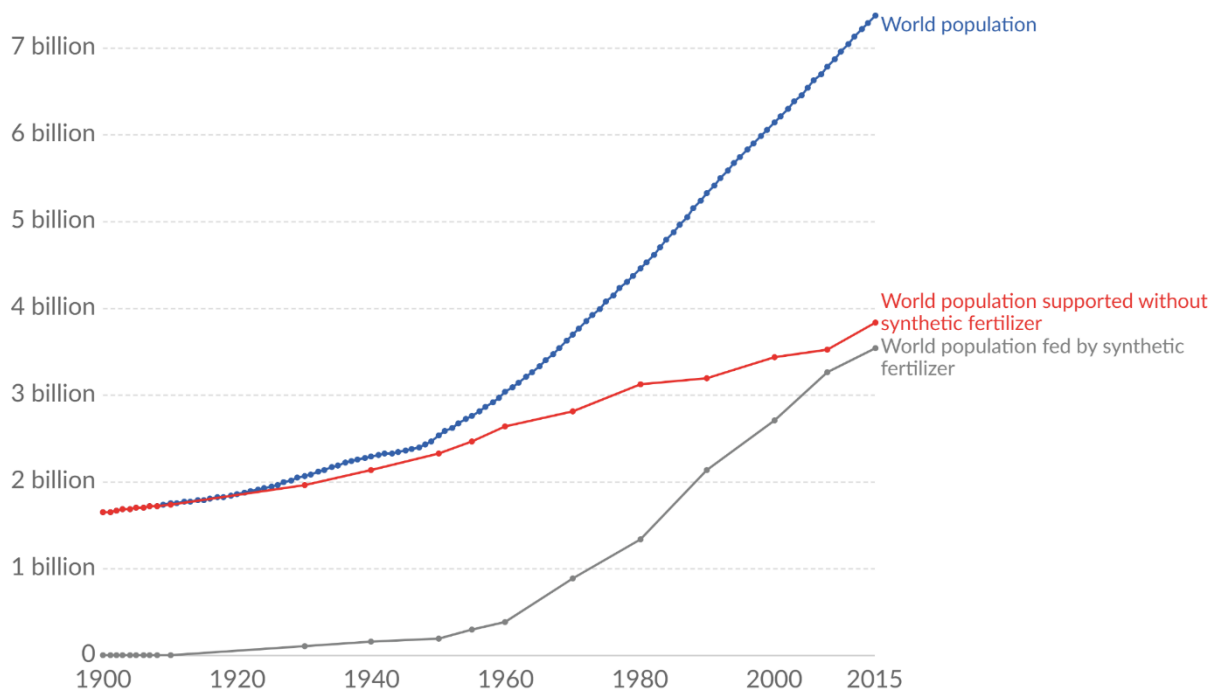
# L'AUMENTO DELL'USO DI FERTILIZZANTI DI SINTESI

Oggi metà della popolazione mondiale è sfamata grazie all'uso di fertilizzanti di sintesi

## World population with and without synthetic nitrogen fertilizers

Estimates of the global population reliant on synthetic nitrogenous fertilizers, produced via the Haber-Bosch process for food production. Best estimates project that just over half of the global population could be sustained without reactive nitrogen fertilizer derived from the Haber-Bosch process.

Our World  
in Data



Source: Erisman et al. (2008); Smil (2002); Stewart (2005)

[OurWorldInData.org/how-many-people-does-synthetic-fertilizer-feed/](https://OurWorldInData.org/how-many-people-does-synthetic-fertilizer-feed/) • CC BY

# IL FOSFORO



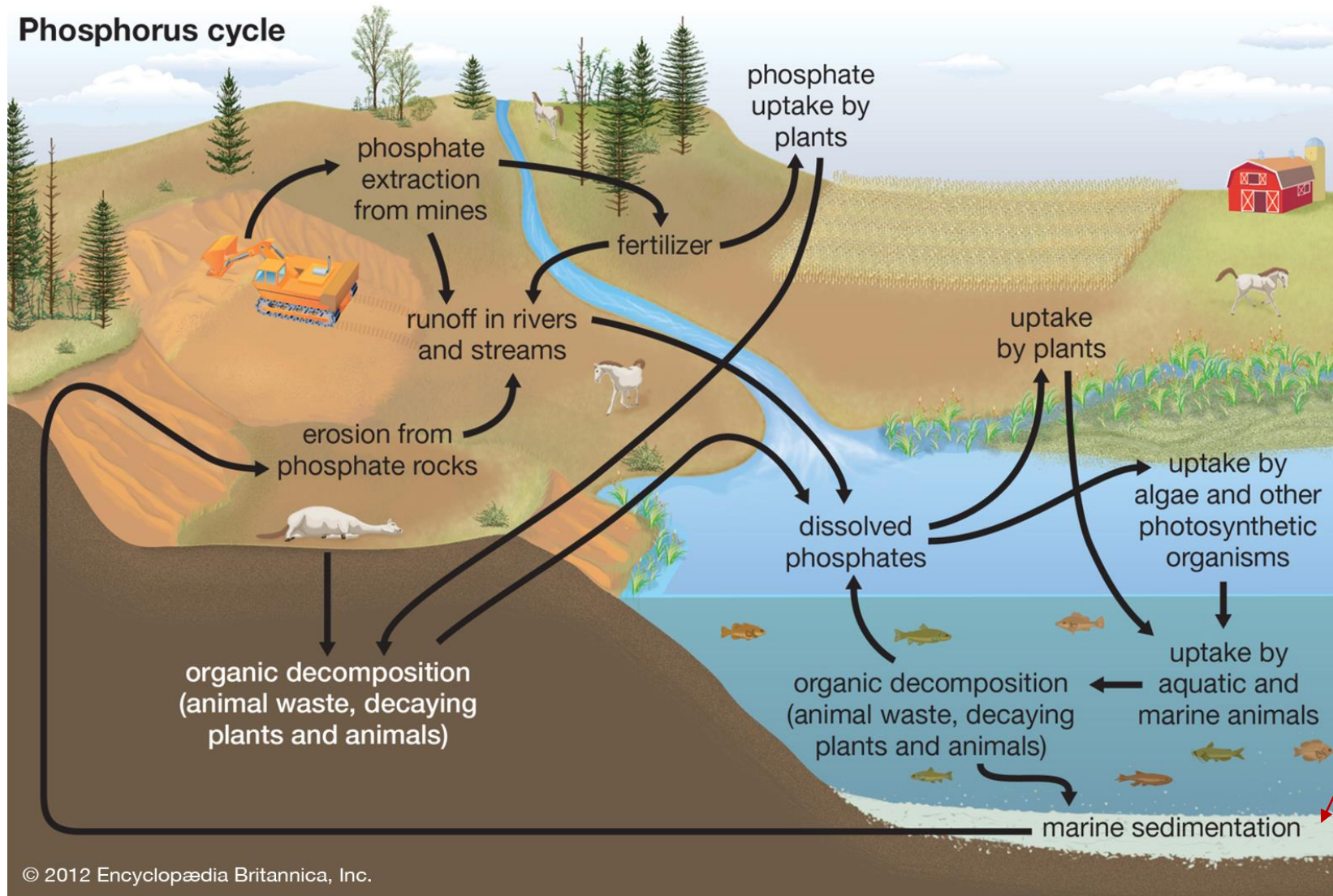
Tutto il fosforo utilizzato nel mondo è estratto da miniere.

Principalmente sottoforma di:

- fluorapatite  $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{F}$
- hydroxyapatite  $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{OH}$

# IL CICLO DEL FOSFORO

## Phosphorus cycle



Il normale ciclo del fosforo è estremamente lento

Comprende la deposizione di sedimenti sul fondale oceanico, che diventano rocce e suolo nel corso di milioni di anni

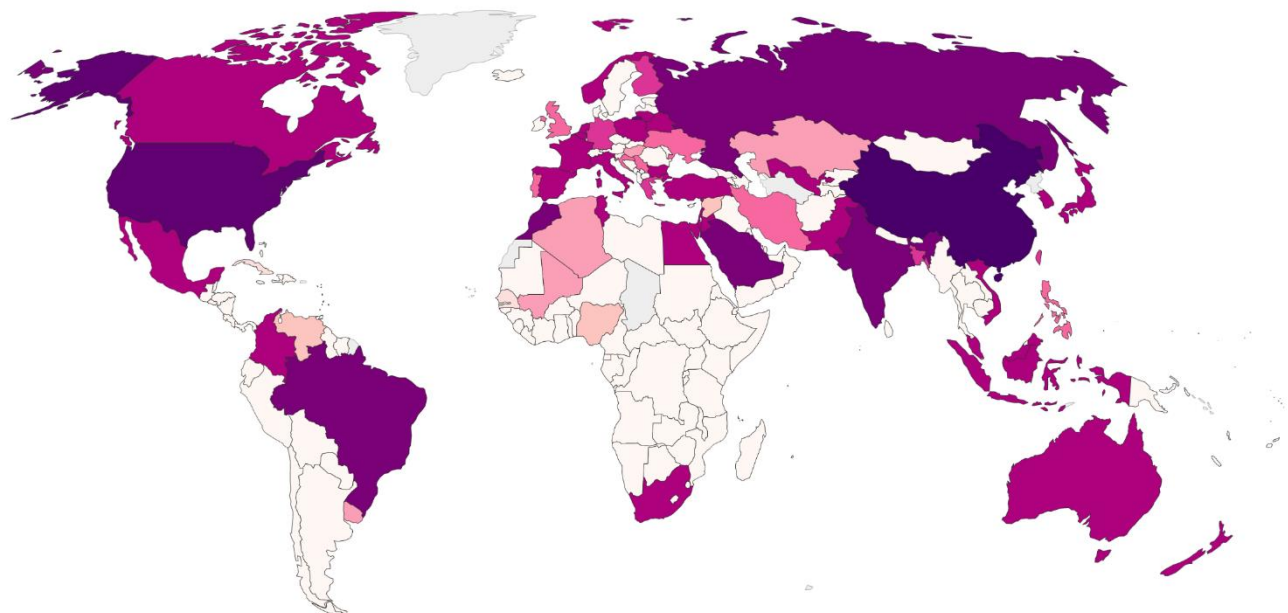
# IL FOSFORO: DOVE VIENE ESTRATTO?

## Phosphate fertilizer production, 2014

Phosphate fertilizer production, measured in tonnes of total nutrient production per year.

Our World  
in Data

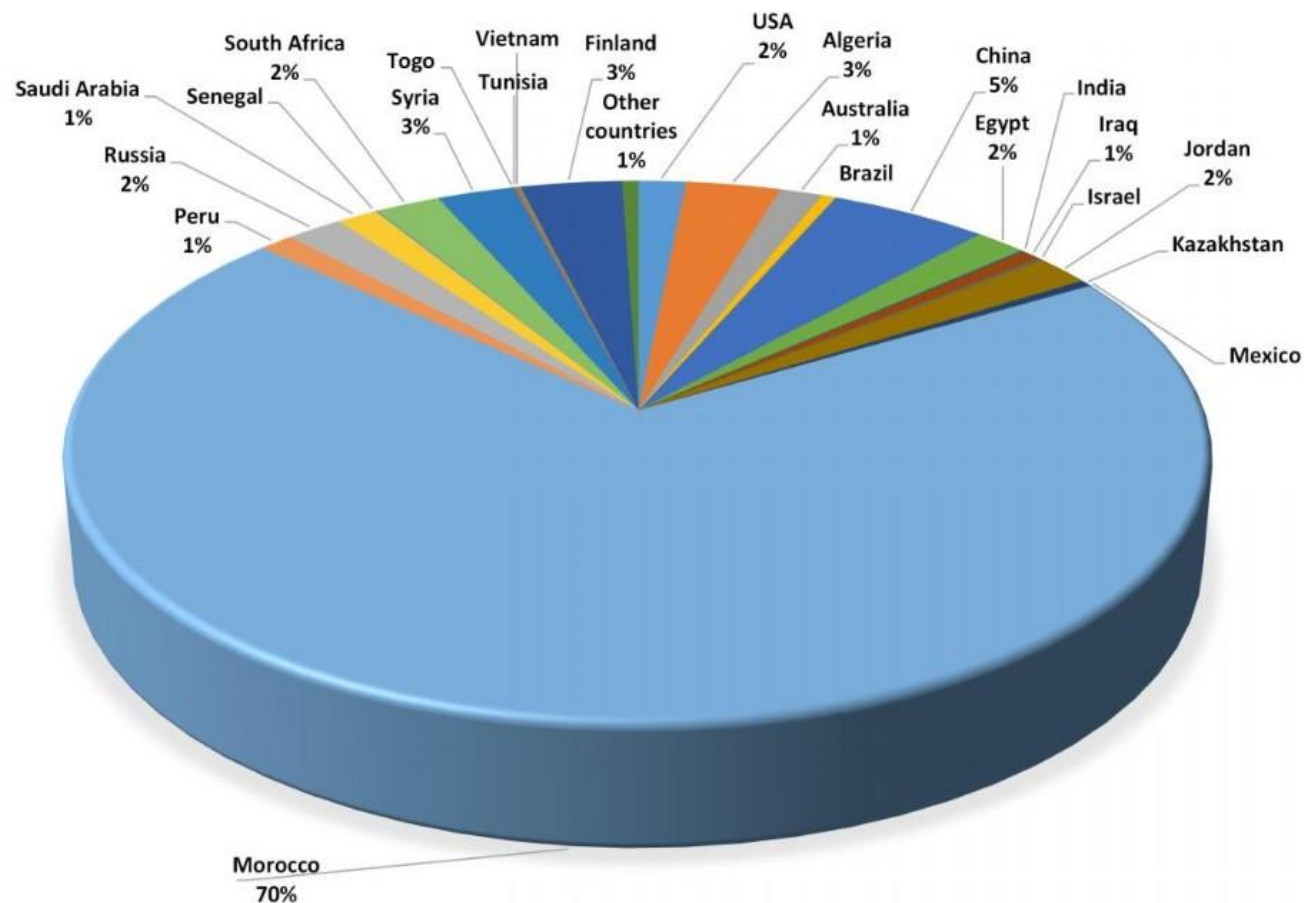
Principalmente da Cina e USA



Source: UN Food and Agricultural Organization (FAO)

OurWorldInData.org/fertilizer-and-pesticides/ • CC BY

# IL FOSFORO: DOVE SONO LE RISERVE MONDIALI?



Le riserve mondiali ammontano a circa 71 Gton

**Commercial Reserves P-Rock 2016**

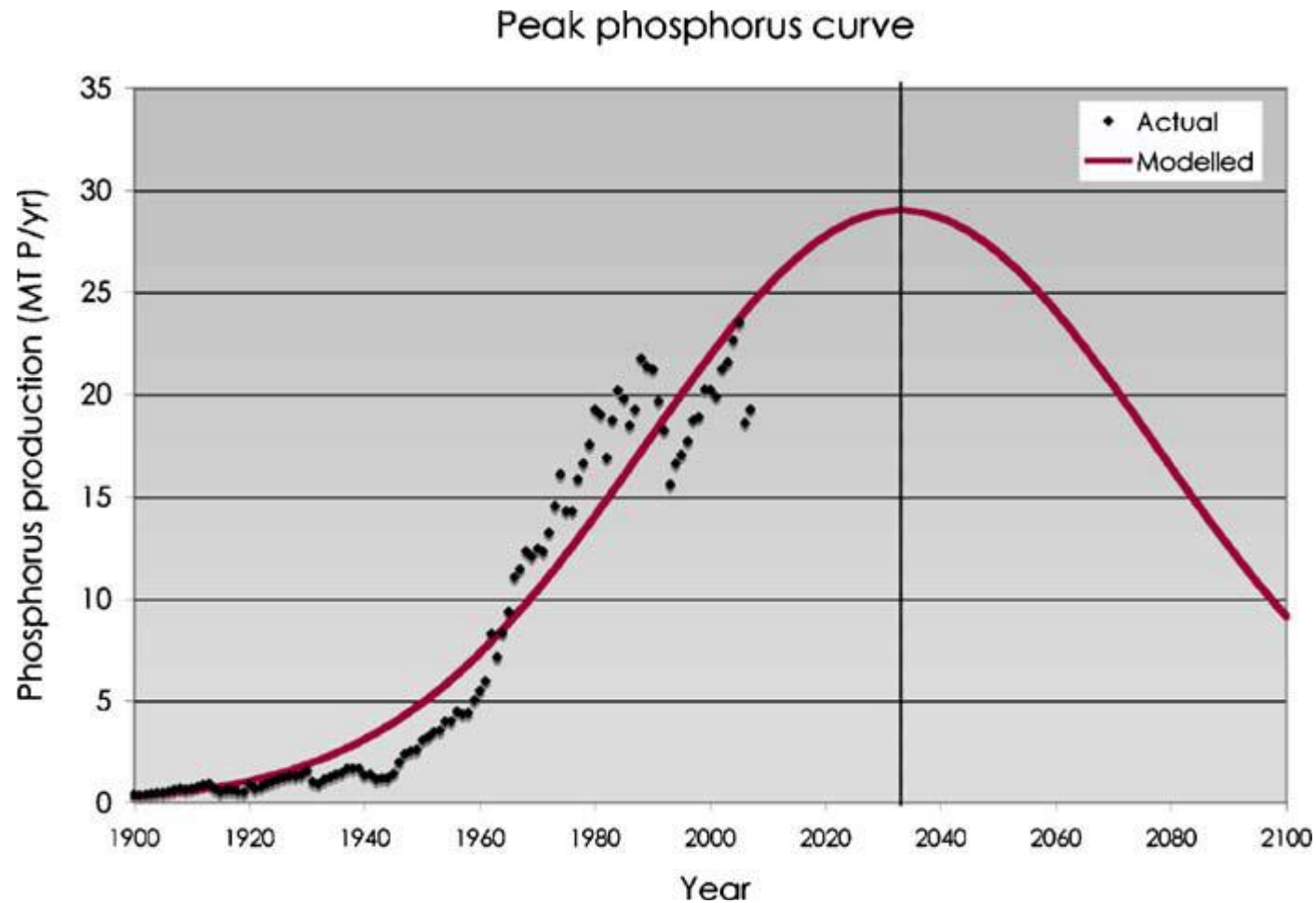
Country	Gigatons of P-rock	% of global
Global	71	100
Morocco	50	70
China	3.7	5
Finland	2.4	3
Algeria	2.2	3
Syria	1.8	3
South Africa	1.5	2
Jordan	1.3	2
Russia	1.3	2
USA	1.1	2
Australia	1	1
Saudi Arabia	0.96	1

USGS 2016; GTK, 2015

94% in 11 countries 

USGS Phosphate Rock Statistics and Information

# IL FOSFORO: QUANDO FINIRÀ?

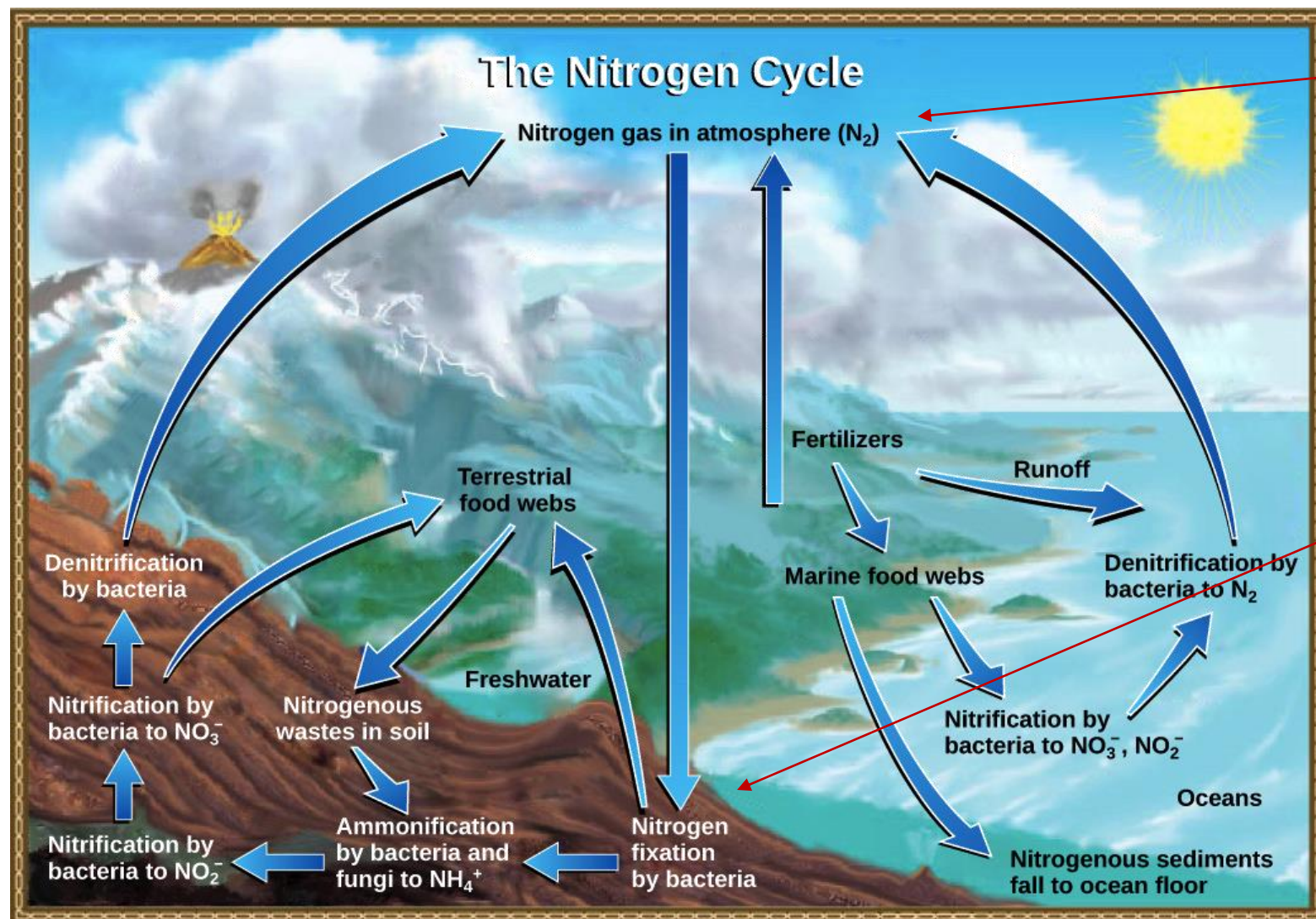


Si prevede un esaurimento del P estraibile entro 50-100 anni

Il raggiungimento del picco della quantità di P estraibile ogni anno è previsto già per il 2030 (Cordell *et al.* 2009)



# L'AZOTO E IL SUO CICLO NATURALE



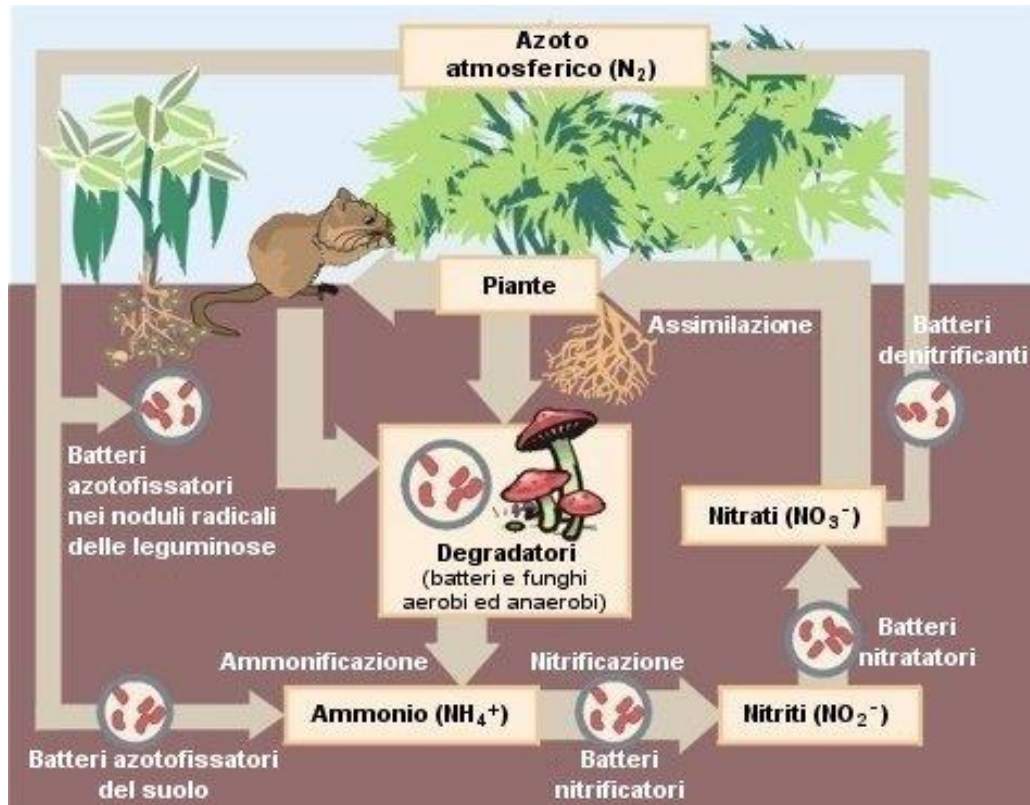
Atmosfera composta dal 78% di N<sub>2</sub> in volume

La fissazione naturale avviene per il 90% da batteri, per il 10% da fulmini.

200 Mton N fissato ogni anno (Rascio *et al.* 2008)

# L'AZOTO FISSAZIONE BATTERICA

Converte l'azoto atmosferico ( $N_2$ ) in azoto ammoniacale ( $NH_4^+$ )



Azoto ammoniacale è indispensabile per molte molecole biologiche

Batteri azotofissatori utilizzano l'enzima nitrogenasi per la reazione:

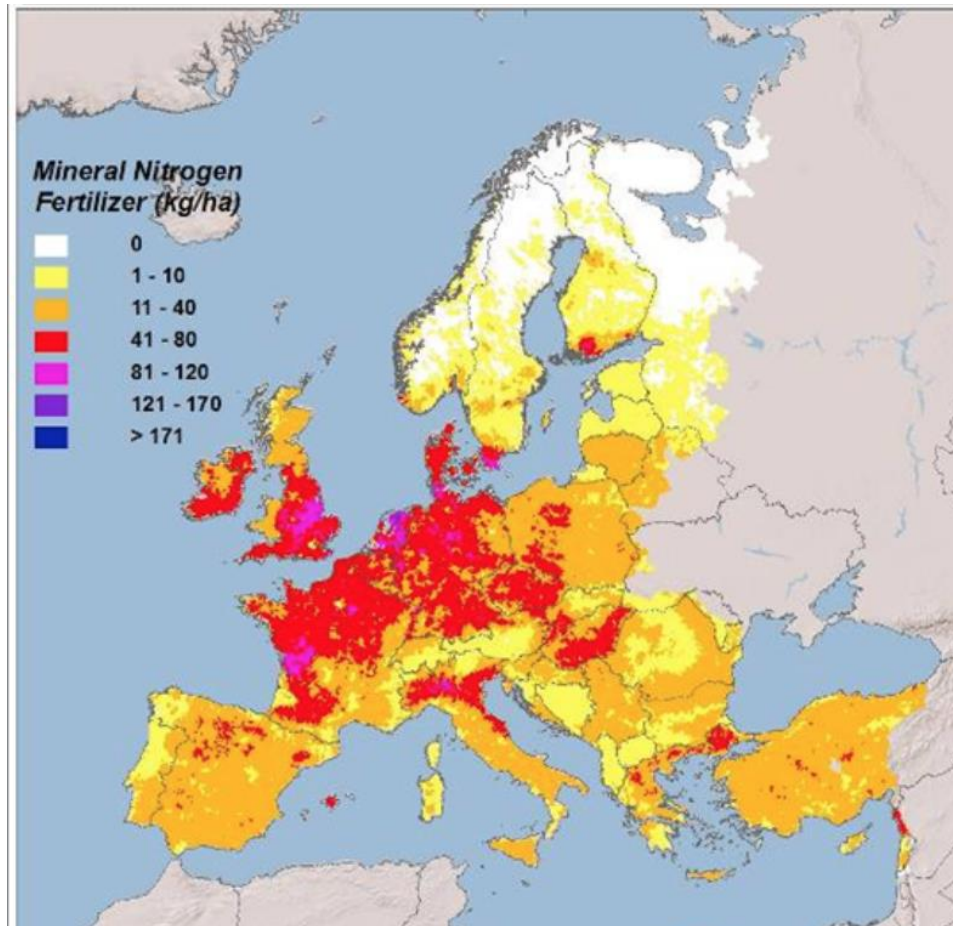


La reazione richiede molta energia, e ambiente anaerobico

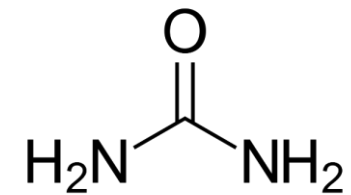
I batteri azotofissatori sono **INDISPENSABILI** per la vita sul pianeta

# I FERTILIZZANTI AZOTATI

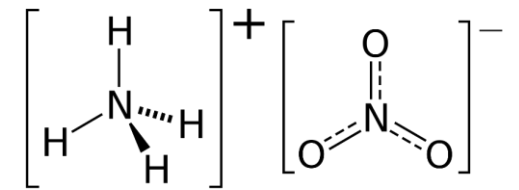
Urea e ammonio nitrato costituiscono il 96% dei fertilizzanti azotati di sintesi usati nel mondo



Quantità di fertilizzanti N di sintesi usati in Europa oggi



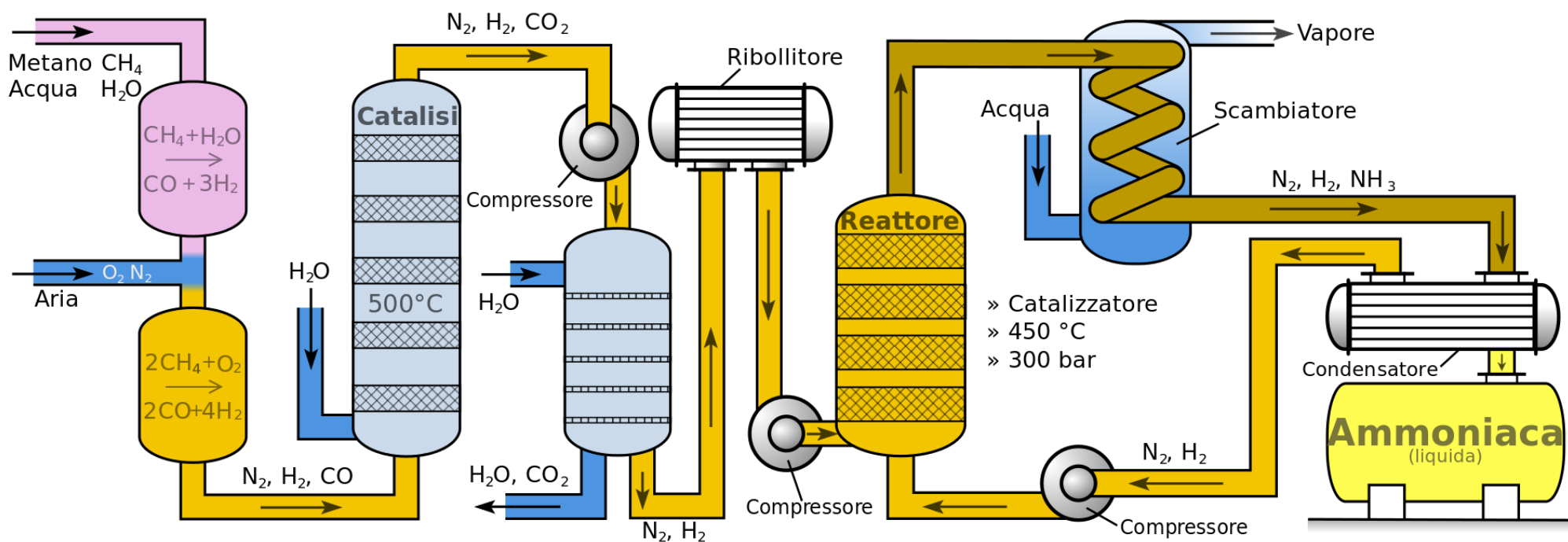
Urea



Ammonio nitrato

# I FERTILIZZANTI AZOTATI: DA DOVE ARRIVANO?

Il processo Haber-Bosch: brevettato nel 1910



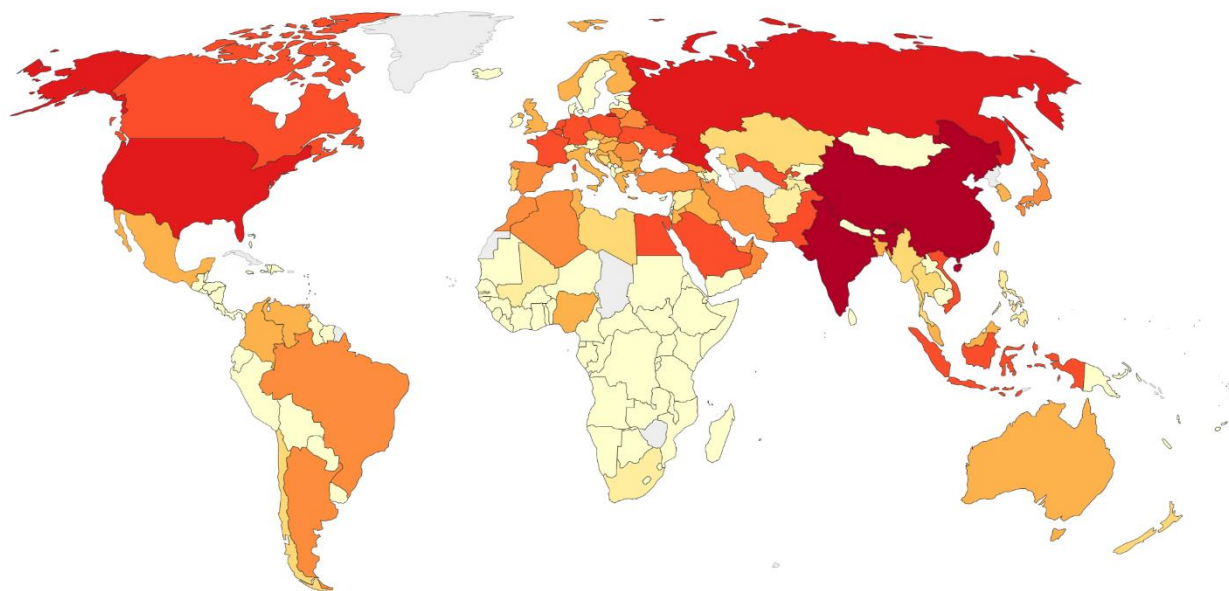
L'azoto fissato annualmente tramite Haber-Bosch oggi costituisce il 45% del totale dell'azoto fissato a livello globale (Zilio *et al.* 2020)

# I FERTILIZZANTI AZOTATI: DA DOVE ARRIVANO?

## Nitrogen fertilizer production, 2014

Global nitrogenous fertilizer production, measured in tonnes of nitrogen produced per year.

Our World  
in Data



I maggiori produttori mondiali:  
Cina e India



Source: UN Food and Agricultural Organization (FAO)

OurWorldInData.org/fertilizer-and-pesticides/ • CC BY

# I FERTILIZZANTI AZOTATI: QUAL È IL PROBLEMA?

Oggi il 96% dei fertilizzanti azotati di sintesi è ottenuto tramite Haber-Bosch (160 MtonN per anno)

## Urea production requires fossil fuels.

equivalent of four barrels of oil to produce one ton of urea.

4-barrel energy equivalency

1-ton urea



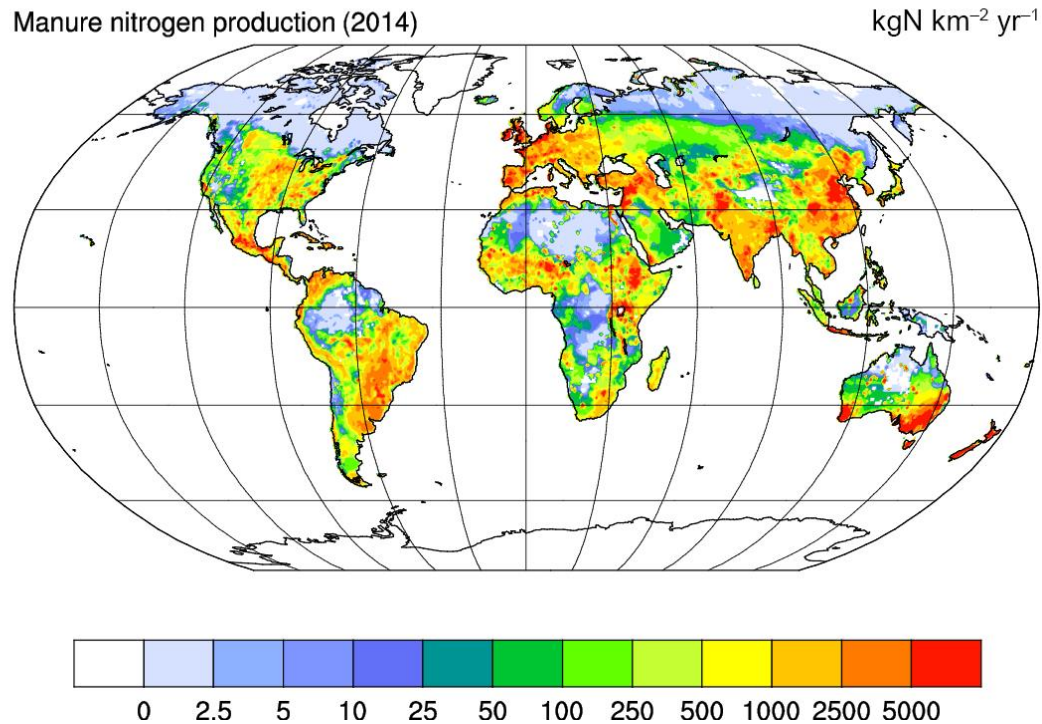
Urea = 46% Nitrogen



Complessivamente il processo consuma ogni anno l'**1% dell'energia totale prodotta nel mondo**, ed è responsabile direttamente del **1,2% delle emissioni globali di CO<sub>2</sub>** (Kitano *et al.* 2012, Hill *et al.* 2019)

# L'ALTERNATIVA AI FERTILIZZANTI N DI SINTESI: LE BIOMASSE

I reflui zootecnici contengono circa lo 0.2% in peso di azoto

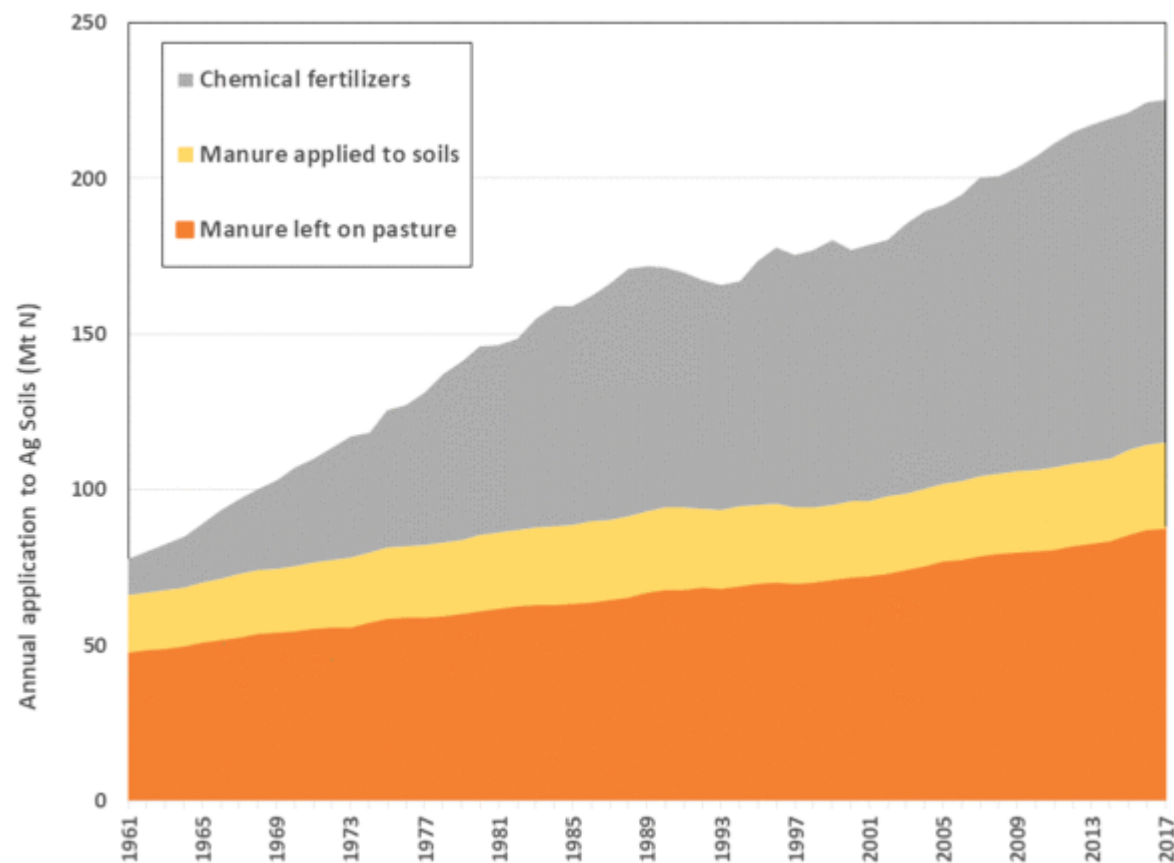


Zhang *et al.* 2017

Oltre 125 Mton/anno di reflui zootecnici prodotti nel mondo



# COME VENGONO USATI I REFLUI?



Male

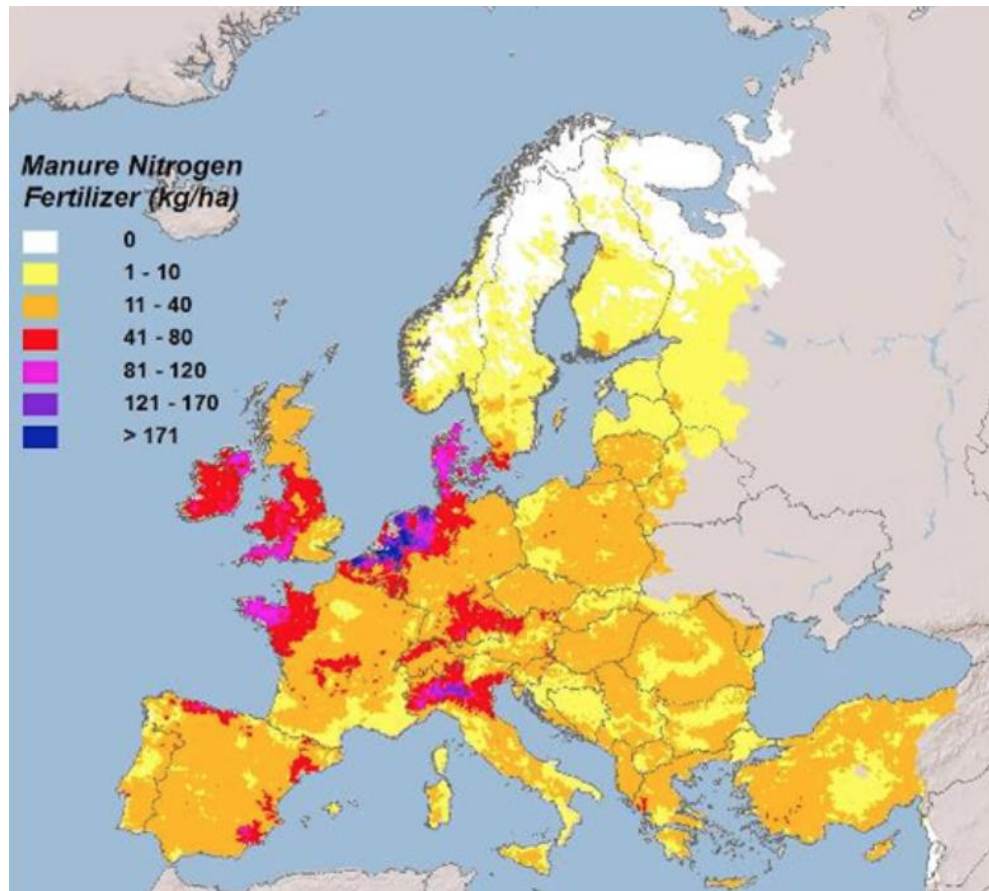
Input globale di N ai suoli agricoli da reflui zootecnici e fertilizzanti di sintesi (1961–2017). FAO 2017

Perché?

- Allevamenti e coltivazioni spesso scollegati
- N poco concentrato nei reflui
- I reflui possono avere contaminanti
- I costi di gestione della filiera possono essere più alti dell'acquisto di fertilizzanti di sintesi

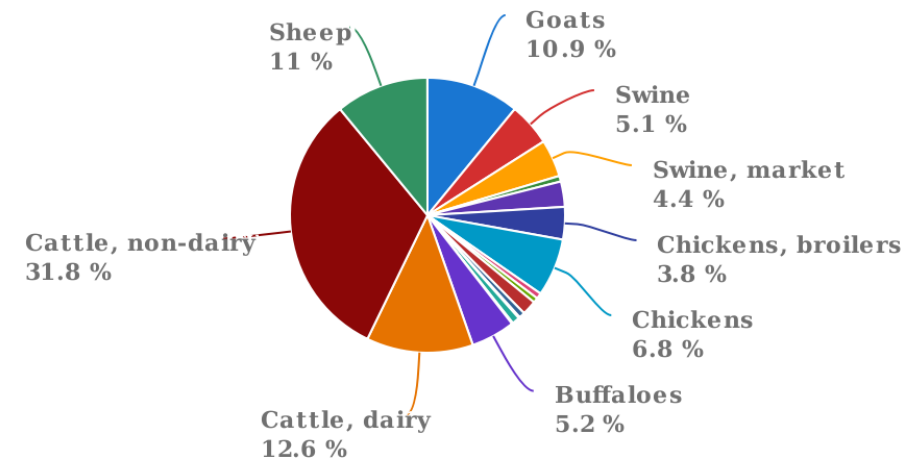


# CHI PRODUCE PIÙ REFLUI?



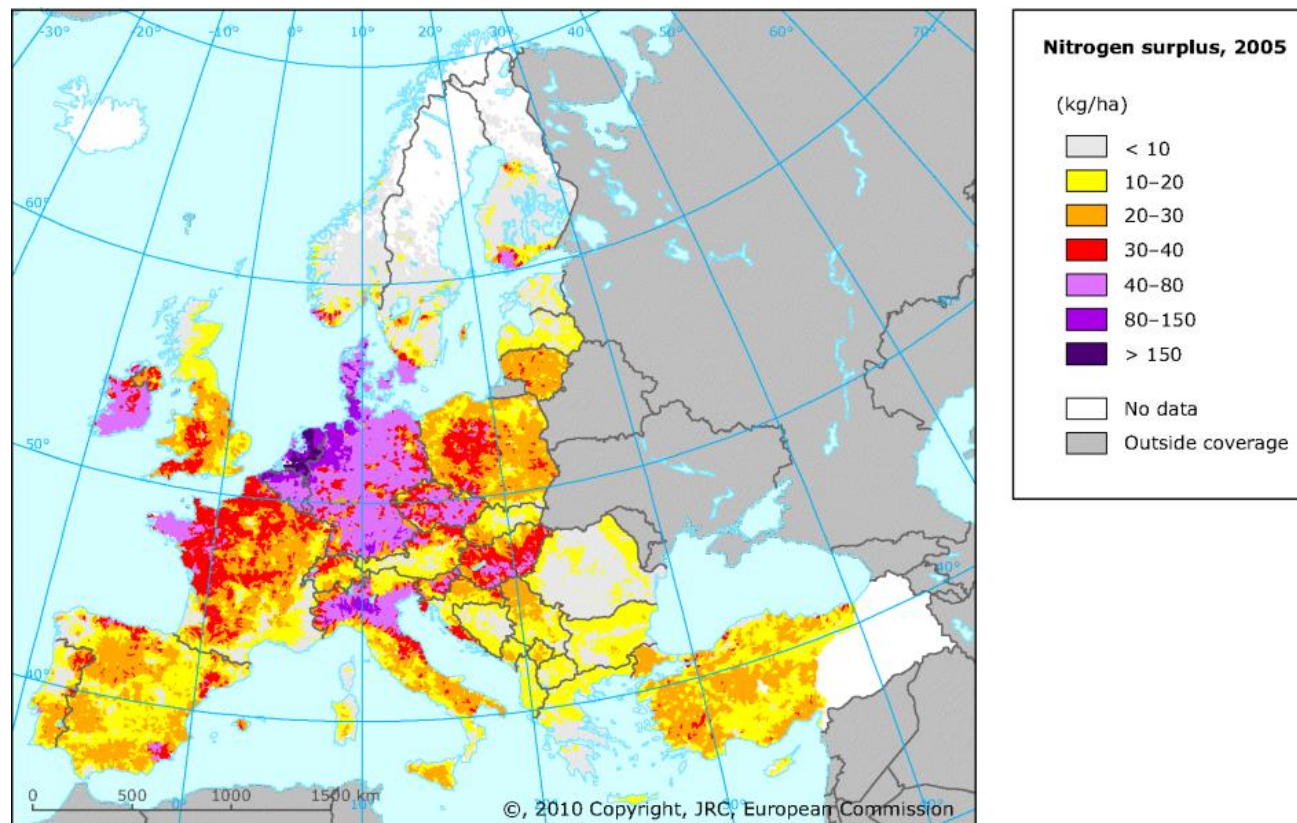
## Amount excreted in manure (N content), World + (Total)

World + (Total), 2017



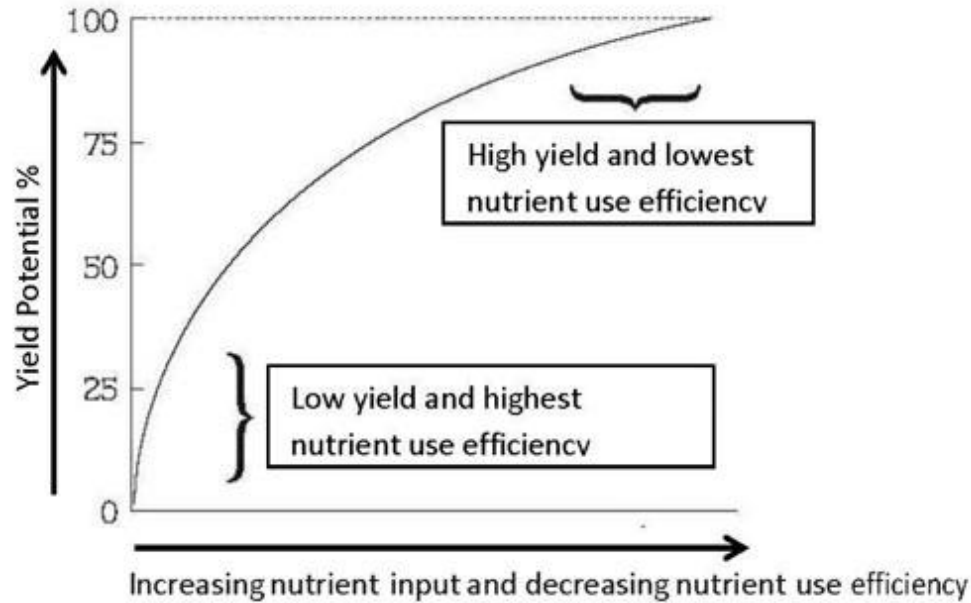
Source: FAOSTAT (Feb 16, 2020)

# L'ECCESSO DI AZOTO IN EUROPA



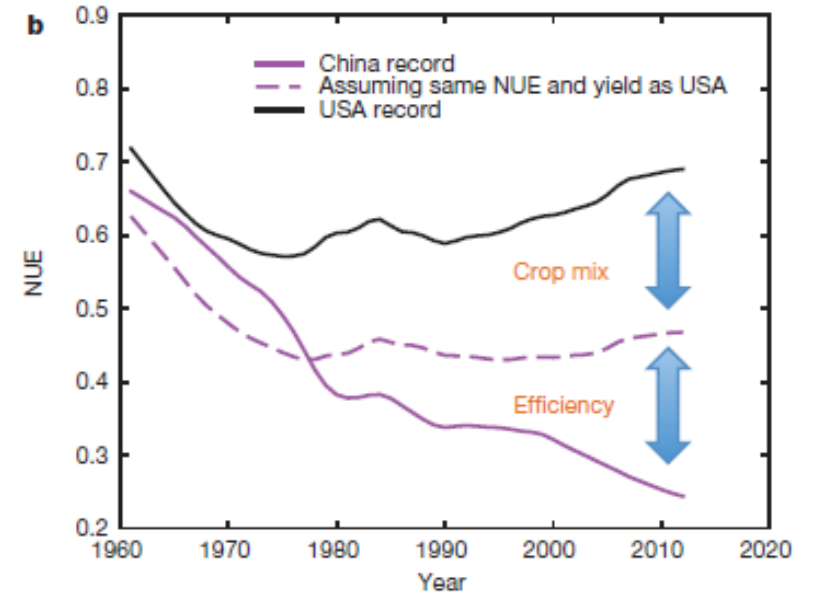
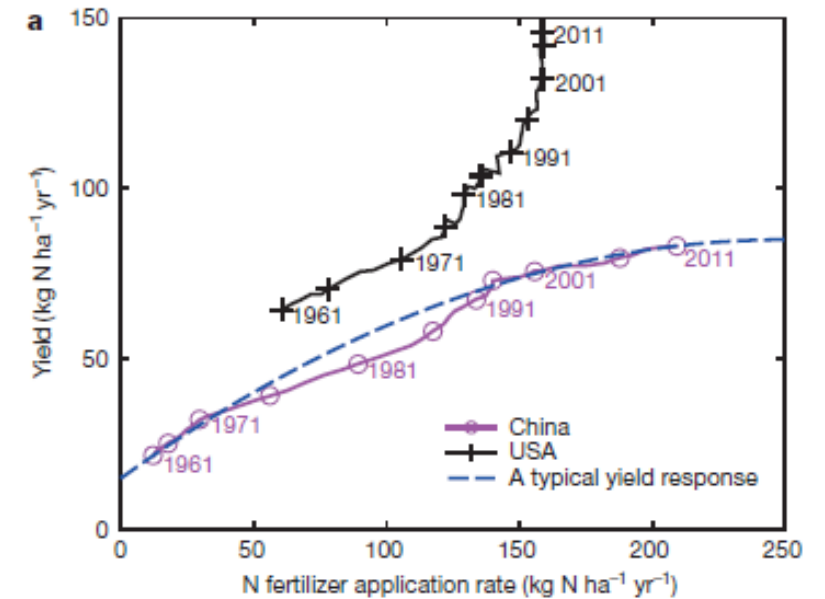
Risultato:  
si continua a utilizzare fertilizzanti di sintesi, e non si sa più dove mettere i reflui

# L'EFFICIENZA DELL'USO DI AZOTO (NUE)



L'aumento della resa agricola non aumenta linearmente con la quantità di N applicato

Oltre una certa soglia di quantità di N (che dipende da molti fattori), le piante non sono in grado di assorbirlo

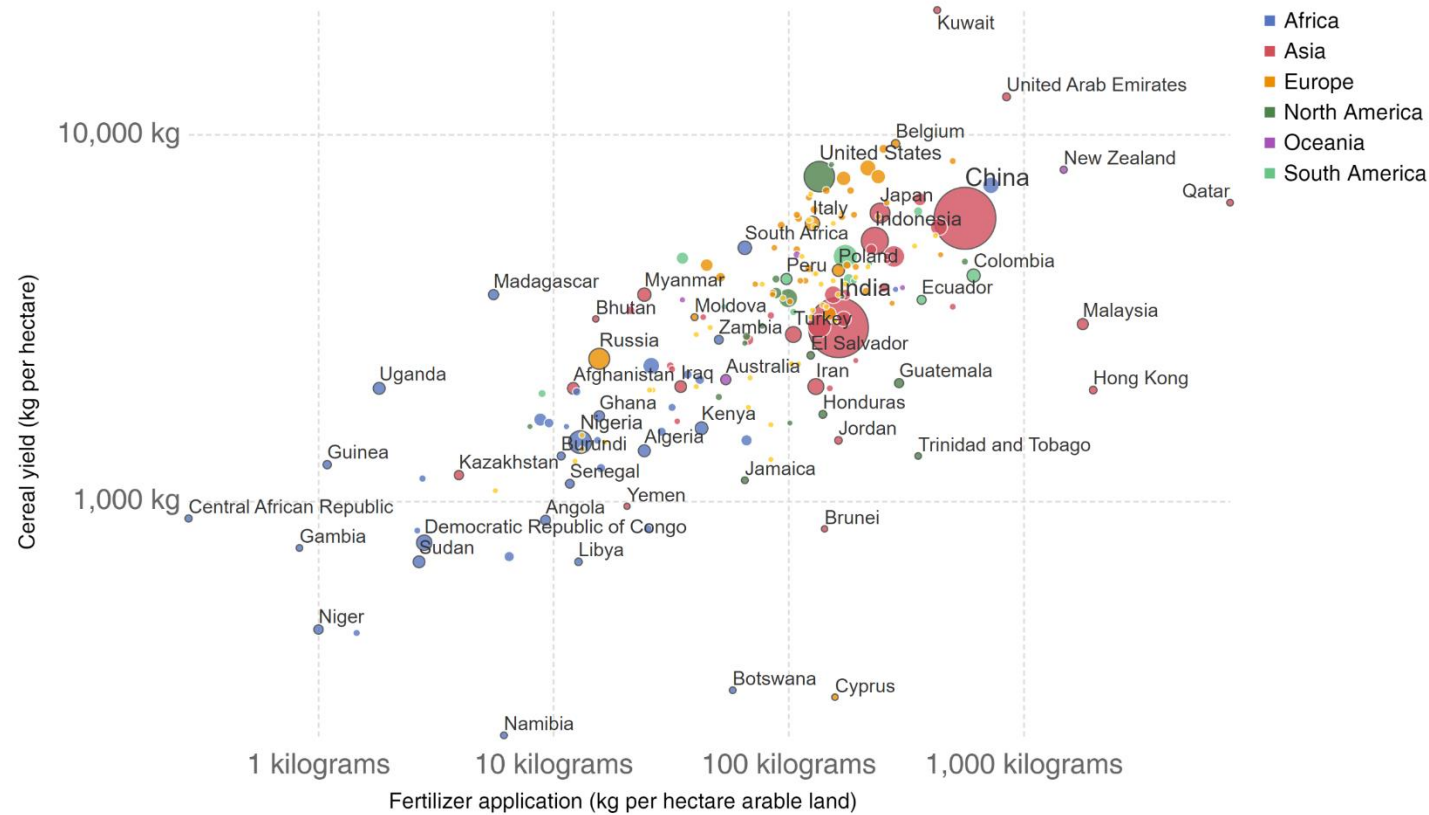


# L'EFFICIENZA DELL'USO DI AZOTO (NUE)

## Cereal crop yield vs. fertilizer application, 2014

Average cereal crop yield (measured in kilograms per hectare) versus fertilizer application (measured in kilograms of fertilizer used per hectare of arable land)

Our World  
in Data



A livello globale, le rese più alte non sono ottenute da chi usa più fertilizzanti.

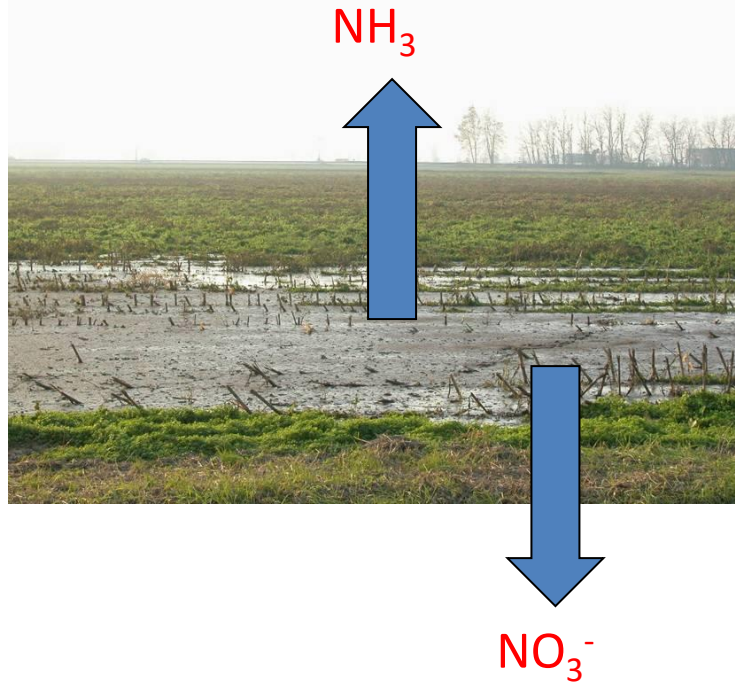
Il NUE può dipendere dalle caratteristiche del suolo, dal clima e dalla genetica della pianta

Source: World Bank

OurWorldInData.org/yields-and-land-use-in-agriculture/ • CC BY



## USO AGRONOMO DEGLI EFFLUENTI DI ALLEVAMENTO

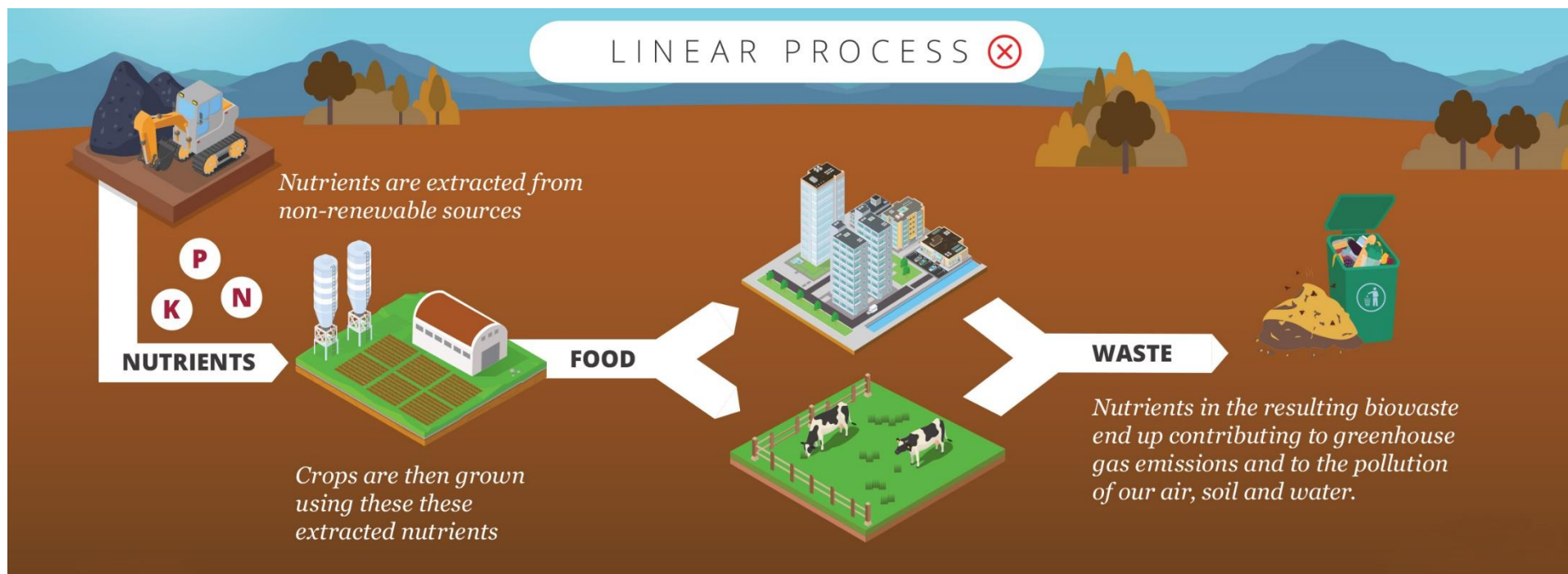


Cortesia: Sommariva  
ARAL- SATA, 2010



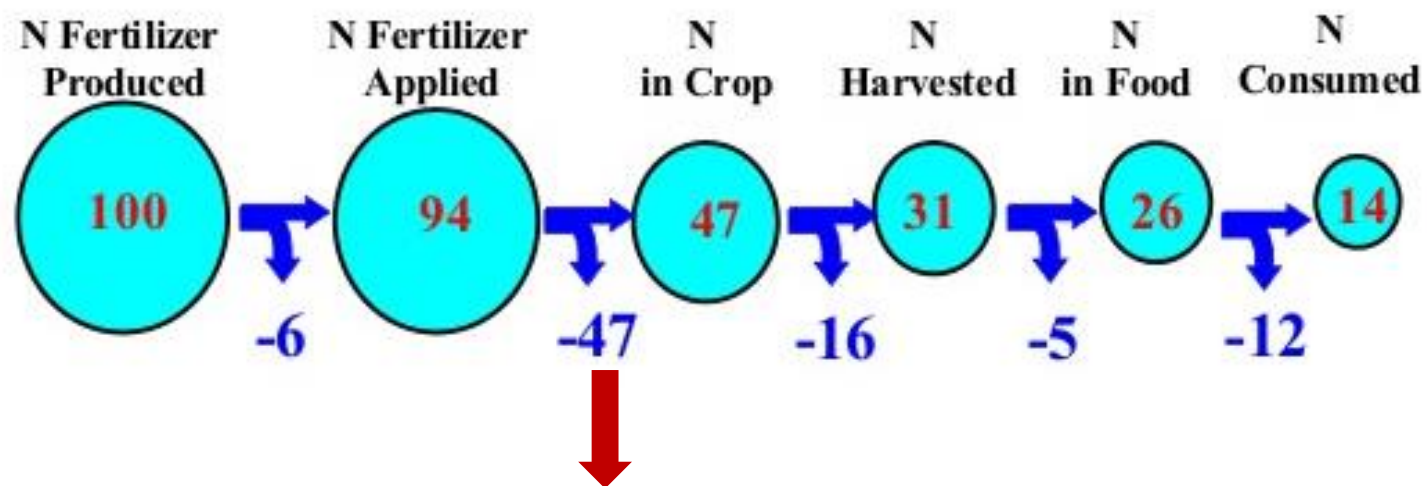
# L'AGRICOLTURA OGGI: ECONOMIA LINEARE

Il modello di economia lineare, in uso ancora oggi



# IL DESTINO DELL'AZOTO NEI FERTILIZZANTI

Solo il 14% dell'azoto presente nei fertilizzanti viene consumato nell'alimentazione, il resto viene perso nell'ambiente in varie forme



Il 47% è perso direttamente nel suolo

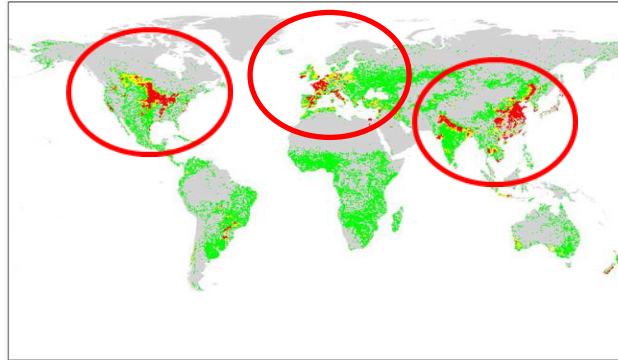
Fertilizer industry production causes about 1.6% (748 Tg CO<sub>2</sub> eq.) of the global GHG emissions (Marquis et al., 2013).

N fertilizers account for 33% of the total annual creation of reactive N, i.e. 170 Tg N y<sup>-1</sup> (fertilizers and livestock manure)(FAOSTAT, 2020; Galloway et al., 2003),

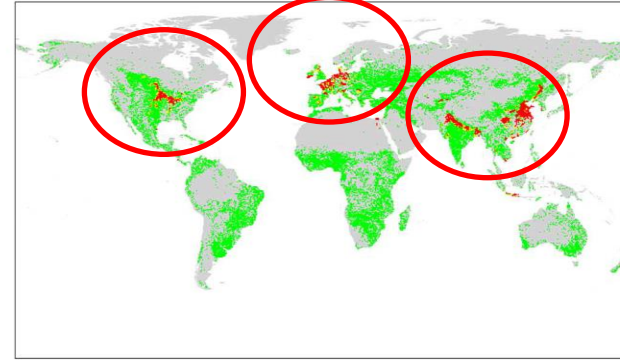


# N and P are over planet boundary

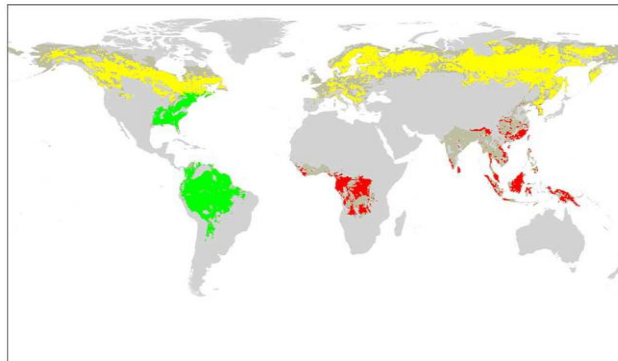
**A Phosphorus**



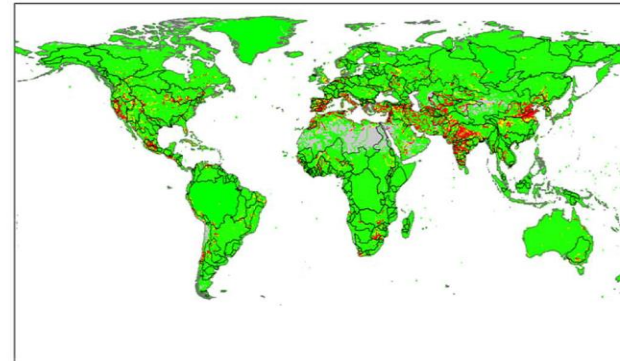
**B Nitrogen**



**C Land-system change**



**D Freshwater use**



■ Beyond zone of uncertainty (high risk)    ■ In zone of uncertainty (increasing risk)    ■ Below boundary (safe)

Steffen et al., 2015  
Science

**Table 1. The updated control variables and their current values, along with the proposed boundaries and zones of uncertainty, for all nine planetary boundaries.** In the first column, the name for the Earth-system process used in the original PB publication (R2009, reference 1) is given for comparison.

Earth-system process	Control variable(s)	Planetary boundary (zone of uncertainty)	Current value of control variable
Biogeochemical flows: (P and N cycles) (R2009: Biogeochemical flows: (interference with P and N cycles))	<i>P Global:</i> P flow from freshwater systems into the ocean	11 Tg P yr <sup>-1</sup> (11–100 Tg P yr <sup>-1</sup> )	~22 Tg P yr <sup>-1</sup>
	<i>P Regional:</i> P flow from fertilizers to erodible soils	6.2 Tg yr <sup>-1</sup> mined and applied to erodible (agricultural) soils (6.2–11.2 Tg yr <sup>-1</sup> ). Boundary is a global average but regional distribution is critical for impacts.	~14 Tg P yr <sup>-1</sup>
	<i>N Global:</i> Industrial and intentional biological fixation of N	62 Tg N yr <sup>-1</sup> (62–82 Tg N yr <sup>-1</sup> ). Boundary acts as a global 'valve' limiting introduction of new reactive N to Earth System, but regional distribution of fertilizer N is critical for impacts.	~150 Tg N yr <sup>-1</sup>

Steffen et al., 2015  
Science

Nitrogen fertilizers are produced starting from  $N_2$

The fertilizers manufacturing industry consumes about **3-5 %** of the world's energy supply

The total annual demand of fertilizers will increase of 25% by 2030 of which 62% of N

FIMechE, 2013

**Sep. 17, 2021: Fertilizer maker CF Industries closed two ammonia producer plants in the U.K.**

**Sep 17 2021: Yara to cut back European ammonia production by 40%**

Record high natural gas prices in Europe are impacting ammonia production margins, and as a result Yara is curtailing production at a number of its plants.

*“Including optimisation of ongoing maintenance, Yara will by next week have curtailed around 40% of its European ammonia production capacity.*

The company said that it will continue to monitor the situation, “with the objective to keep supplying customers but curtailing production where necessary”.

## Fertilizzanti: il prezzo cala ma le difficoltà non sono finite

🕒 3 Febbraio 2023



1



Il crollo del prezzo del gas riporta il costo dei concimi tradizionali ai livelli pre-guerra con una riduzione del 40% rispetto al 2022, ma è necessario **programmare acquisti e interventi per evitare difficoltà logistiche che certamente non mancheranno**. È quanto afferma CAI – Consorzi Agrari d'Italia sulla situazione nelle campagne italiane alla vigilia delle semine primaverili.

Informatore Agrario, 3 febbraio, 2023

# Il tempo scorre e le cose cambiano.....

Il prezzo dell'**urea**, il fertilizzante più utilizzato, oscilla tra 600 e 650 euro/tonnellata, in linea con i dati dell'autunno 2021, ben distante da quota 1.000 euro/t raggiunta nei primi mesi del conflitto in Ucraina. Il **nitrato ammonico**, invece, è passato in poche settimane da 900 a 700 euro/tonnellata, mentre i **fosfatici** si aggirano intorno alle 400 euro/tonnellata, in calo del 25%. Più contenuti, invece, i cali sui prodotti **a base di potassio** che registrano una lieve oscillazione (-5%).

Si tratta di una boccata d'ossigeno importante per le aziende agricole italiane alle prese con un caro energia che ha portato nel 2022 ad un aumento esorbitante dei costi.

A differenza dello scorso anno, quando nel pieno degli interventi si registrò un deficit di fertilizzanti pari al 40% del fabbisogno nazionale, **secondo Cai non sono previsti al momento particolari problemi di forniture.**

L'Italia importa il 70% circa di concimi minerali (azotati, fosfatici, potassio), con l'Egitto che da sola rappresenta poco meno del 50% delle importazioni, seguito da Algeria, Libia, Turchia, Marocco.

Informatore Agrario, 3 febbraio, 2023

# QUINDI? ILLECITI

Mantova » Cronaca

## Spandimento liquami, denunciato allevatore



Liquami versati in un campo

**MARMIROLO.** Spandimento illegale Porto Mantovano hanno denuncia aveva stoccato una grossa quantita



Tra le attività di vigilanza ambientale svolte dai Carabinieri Forestali figura anche il controllo dell'utilizzo dei reflui di origine zootecnica in agricoltura.

**quibrescia.it**  
dal 1999 il primo quotidiano online di Brescia e Provincia

CRONACA



## Bassa Bs, raffica di multe e denunce per i liquami

La situazione più grave a Bagnolo Mella dove un allevatore ha trasformato in una discarica il terreno che doveva diventare un pioppeto finanziato da Ue.

di Vittorio Prestini - 20 Marzo 2018 - 12:43

Commenta Stampa Invia notizia min

Liquami bagnolo mella montichiari poncarale



Il martedì 20 marzo i carabinieri forestali sono stati impegnati in una serie di interventi nella bassa bresciana per vari motivi. Uno di questi è lo spandimento illegale di liquami nei campi. Una di queste situazioni è stata riscontrata a Bagnolo Mella dove un allevatore di bovini che



Cronaca / Baia e Latina

## Liquami scaricati illegalmente, indagato noto imprenditore

La Procura: "Conseguenze ambientali disastrose"

Redazione



Bresciaoggi Segui Sezioni BASSA

Travagliato Orzinuovi Bagnolo Mella Ghedi Leno Manerbio Calcinato

di oggi

- Schianto tra auto e camion sulla statale: ferita 27enne | FOTO
- Doppio agguato di camorra, giallo sull'auto del commando
- Ragazza investita dal treno merci mentre è sui binari
- Terribile schianto sull'Appia, tir centra in pieno un'auto: corsa folle in ospedale

OGGI IN MONTICHIARI

6.2.2019

## Ennesimo inquinamento da liquami nella Bassa



Il podere al confine di Novagli teatro dello spandimento abusivo

Tutto Schermo

- Aumenta
- Diminuisci
- Stampa
- Invia

Il territorio della Bassa resta al centro di gravi fenomeni di inquinamento. Dopo i recenti casi a Dello e Bagnolo Mella (entrambi scoperti dalle guardie volontarie della Provincia e dell'Arci caccia), stavolta lo smaltimento abusivo è stato portato alla luce a Montichiari. Nella zona tra i Novagli e i Trivellini alcuni

# Investimenti in R & D

4

## Industry Research and Development Spending

The pharmaceutical and seed industries spend billions on R&D.



Pfizer, Glaxo, Merck ~ 16% of revenues are invested in R&D



Syngenta, Monsanto ~ 9% of agribusiness revenues are invested in R&D



Fertilizer

~ 0.01% of revenues in R&D for new products and new technologies

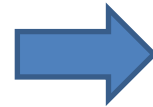


[www.ifdc.org](http://www.ifdc.org)

Celebrating 35 Years



- Il recupero di nutrienti contenuti nelle biomasse diviene un processo di produzione di fertilizzanti:
- La biomassa «preleva» i nutrienti dal suolo rendendoli disponibili per successivi utilizzi in un ciclo chiuso.



**FERTILIZZANTI®**  
**RINNOVABILI**

In molti posti la  
«biomassa»...si fa per  
dire...è «ORO»



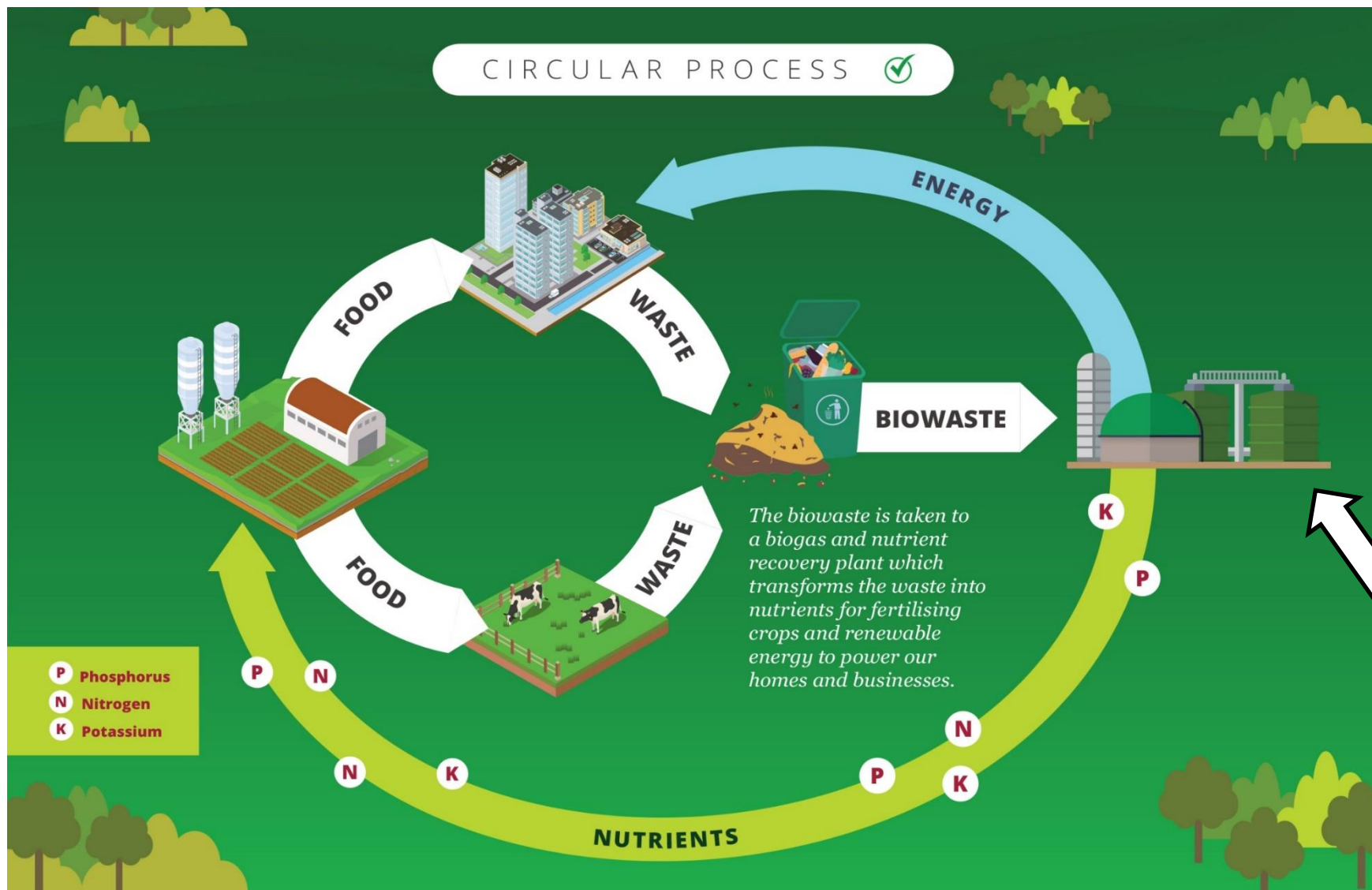
The Peepoo biodegradable bag captures human excreta and can be used as fertilizer.

Dalle biomasse a fertilizzanti:

Di cosa necessitiamo ?

Di tecnologie idonee a trasformare le biomasse  
in fertilizzanti .....*Economia Circolare*

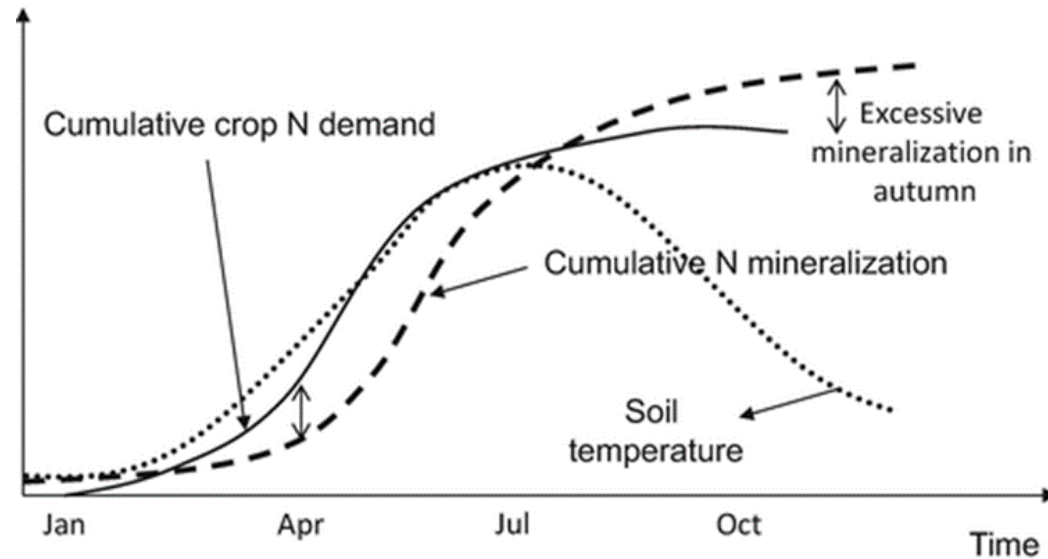
# CHIUDERE IL CICLO: L'ECONOMIA CIRCOLARE IN AGRICOLTURA



I nutrienti vengono estratti dai rifiuti, e riutilizzati in agricoltura

In agricoltura la digestione anaerobica è un punto chiave

I fertilizzanti rinnovabili devono essere in grado di sostituire quelli chimici di sintesi

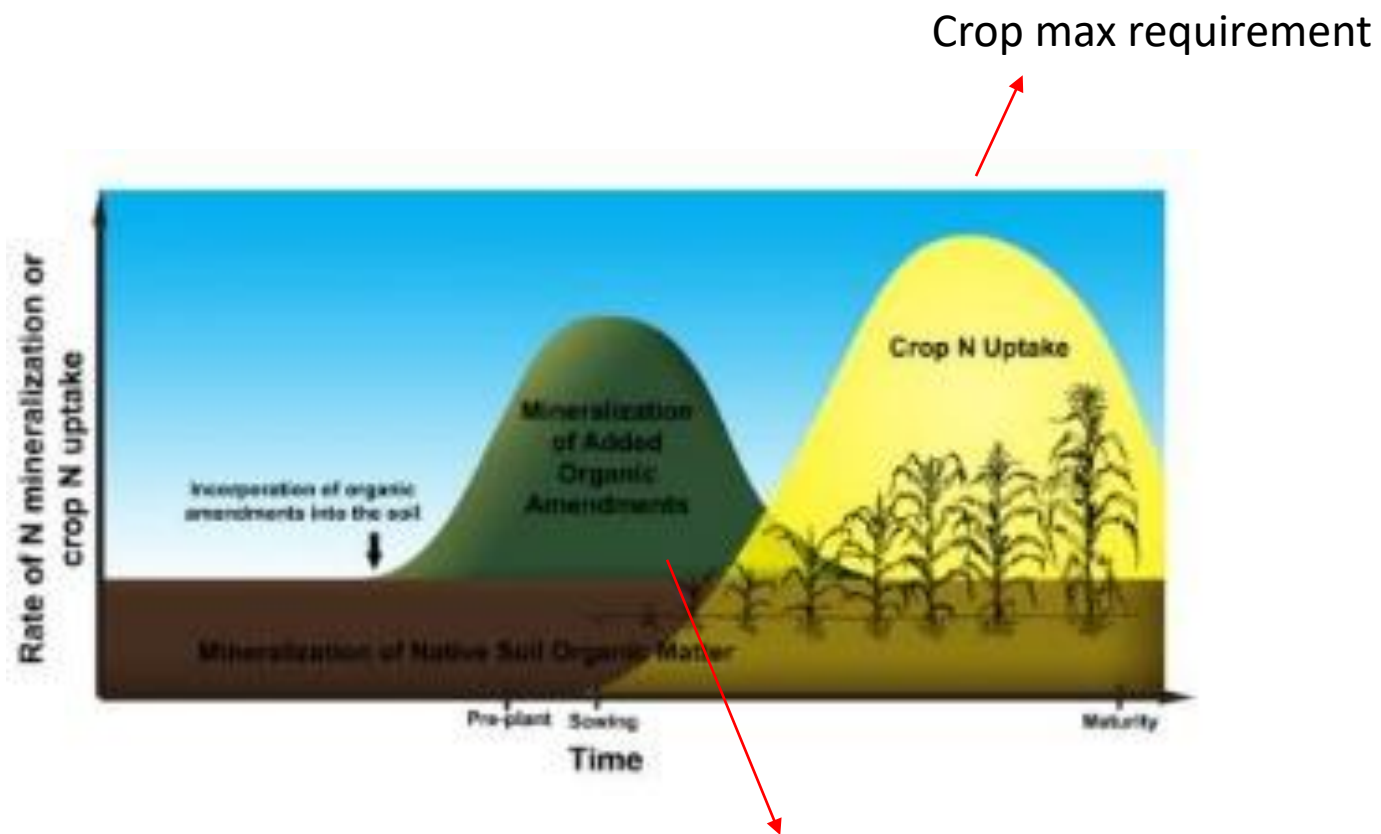


Da *Organic Matter Mineralization as a Source of Nitrogen*, 2017

Dalla biomassa al compost:

Ottimo ammendante

Pessimo concime, i.e. non è in grado di sostituire i concimi chimici di sintesi



# LA DIGESTIONE ANAEROBICA



È un processo biologico di degradazione della sostanza organica in condizioni anaerobiche

I microorganismi fanno tutto il lavoro

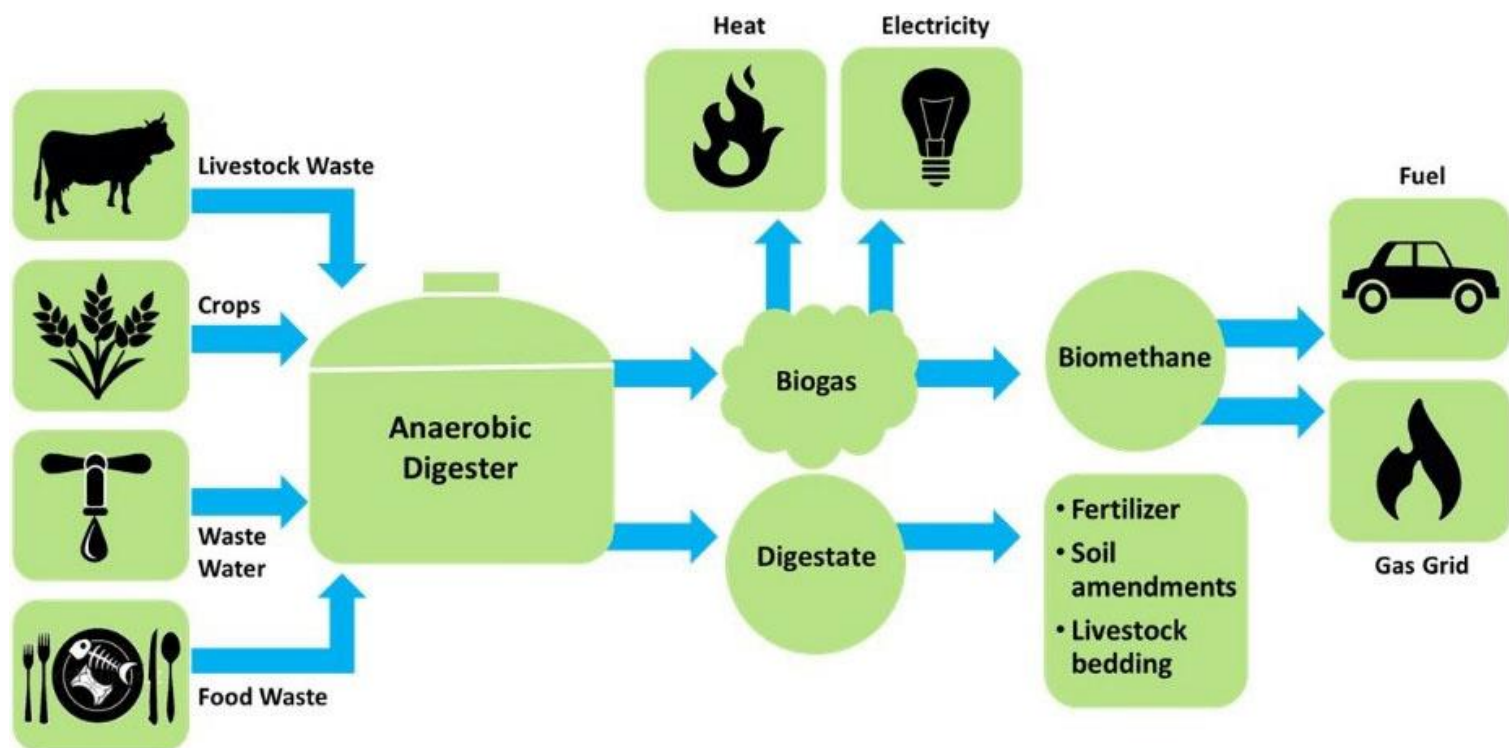
Due possibilità:

- Mesofilica (37-41°C)
- Termofilica (50-52°C)



Dal tipo di digestione dipendono altri parametri, come il pH e il tempo di ritenzione (tra 15 e 30 giorni)

# LA DIGESTIONE ANAEROBICA: INPUT E OUTPUT



Il processo può essere alimentato da scarti di diverso tipo

I prodotti principali sono:

- Biogas: che si può convertire in biometano, oppure bruciare (a emissioni di CO<sub>2</sub> nette nulle) per creare elettricità, che può alimentare l'impianto stesso)
- Digestato, che può essere impiegato in agricoltura come fertilizzante o ammendante (dipende dai trattamenti successivi)

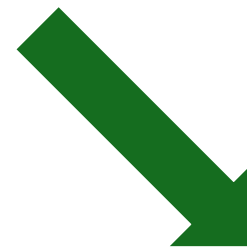




La BIOENERGIA è un  
processo che, in ambiente controllato,  
trasforma le biomasse in



**BIOCOMBUSTIBILE**



**FERTILIZZANTI<sup>®</sup>**  
**RINNOVABILI**

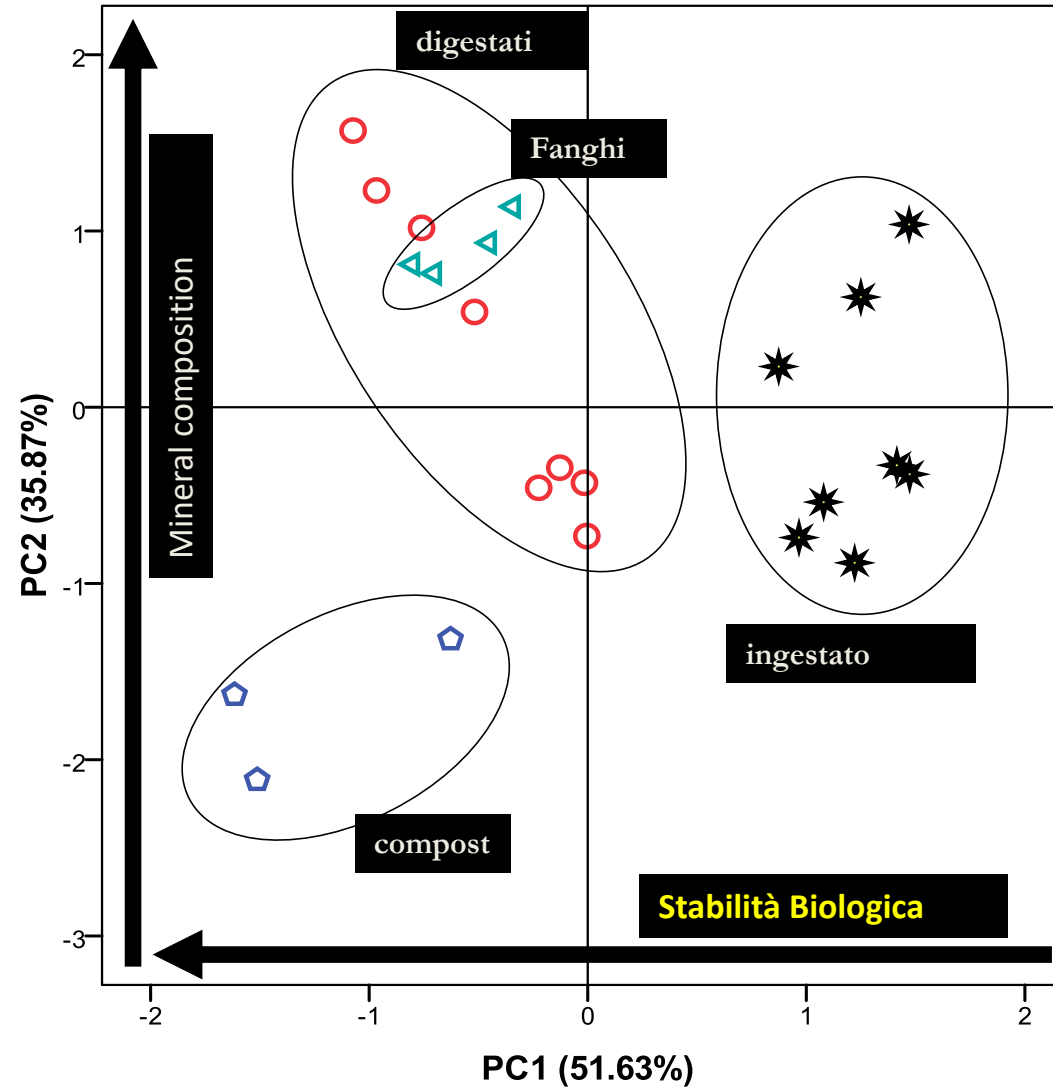
**La digestione anaerobica modifica  
profondamente le caratteristiche  
dell'ingestato .....**



La digestione anaerobica fa quello che farebbe il suolo ma in ambiente controllato, i.e. il digestato è ad elevata stabilità biologica.....

.....però.....

.....la sola definizione di digestato (o di compost o di etc..) non è sufficiente a garantire la stabilità biologica. Essa va misurata e riportata, i.e. misura del potenziale metanigeno residuo



## Misuriamo la stabilità biologica

**Table 1**

Chemical characteristics of the mixture sampled at different time during the anaerobic digestion.

	Samples group		
	A (n = 9)	B (n = 10)	C (n = 10)
TS (g kg FM <sup>-1</sup> )	162 ± 29	59.1 ± 16.4	36 ± 6
VS (g kg TS <sup>-1</sup> )	896 ± 5	751.3 ± 7	684 ± 11
TOC (g kg TS <sup>-1</sup> )	427 ± 5	404 ± 18	377 ± 2
TKN (g kg TS <sup>-1</sup> )	32 ± 2	65 ± 1	110 ± 1
NH <sub>3</sub> -N (g kg TS <sup>-1</sup> )	0.52 ± 0.07	33.3 ± 0.8	68.4 ± 1.6
C/N ratio (g kg TS <sup>-1</sup> )	13.43 ± 0.06	6.74 ± 0.05	3.43 ± 0.01
VFA (g acetic acid kg TS <sup>-1</sup> )	47.7 ± 1.3	51.1 ± 1.7	18.9 ± 0.5
OD <sub>20</sub> (mg O <sub>2</sub> g TS <sup>-1</sup> 20 h <sup>-1</sup> )	235 ± 62	101 ± 20	30 ± 20
ABP (NL kg TS <sup>-1</sup> )	582 ± 11	235 ± 12	77 ± 8
Lignin + no hydrolysable lipids (g kg TS <sup>-1</sup> )	72 ± 3	201 ± 7	243 ± 8
Hemicellulose (g kg TS <sup>-1</sup> )	27 ± 2	68 ± 6	54 ± 3
Cellulose (g kg TS <sup>-1</sup> )	71 ± 2	98 ± 8	79 ± 2
Cell. soluble (g kg TS <sup>-1</sup> )	830 ± 11	633 ± 9	624 ± 10

Stabilità biologica aumenta

A = ingestati: 582 L/kg ss

B = dopo DA ca 40 d: 235 L/kg ss

C = dopo DA ca 50 d: 77 L/kg ss



Stabilità biologica:

I = ingestati

D = digestate

C = compost

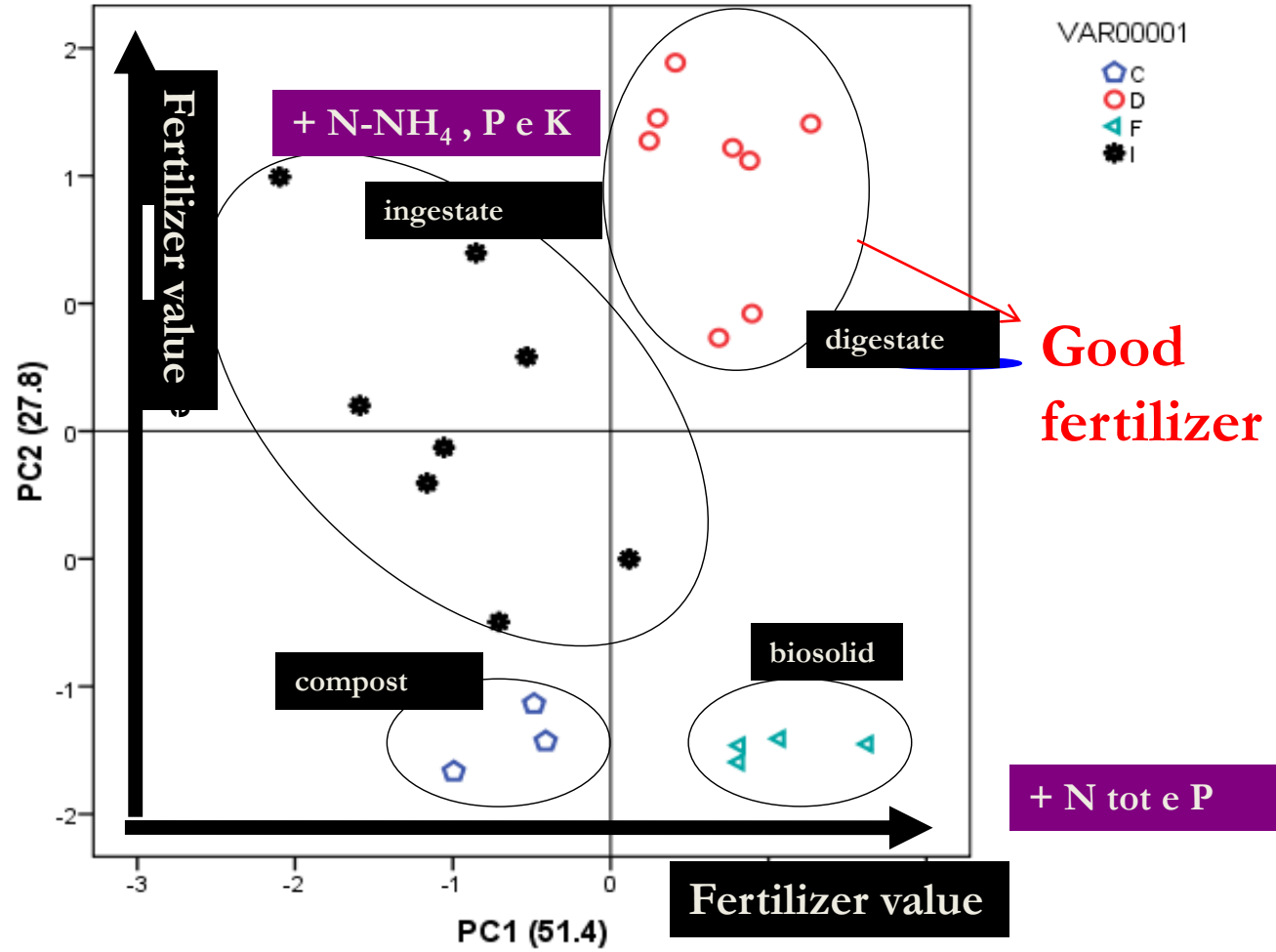
D = fanghi stabilizzati

ABP = biogas potenziale misurato on test 60 giorni a 37 °C

*Ingestati > fanghi > digestati = compost*

	ABP (normal L kg <sup>-1</sup> VS)
I1	649 ± 50
I2	732 ± 58
I3	714 ± 21
I4	631 ± 4
I5	596 ± 26
I6	375 ± 14
I7	449 ± 12
I8	396 ± 13
Mean	568 ± 142b
D1	399 ± 27
D2	396 ± 56
D3	372 ± 79
D4	240 ± 48
D5	281 ± 15
D6	211 ± 6
D7	184 ± 15
D8	193 ± 65
Mean	284 ± 92a
C1	517 ± 58
C2	323 ± 26
C3	472 ± 58
Mean	222 ± 54a a
DS1	438 ± 15
DS2	385 ± 18
DS3	359 ± 58
DS4	394 ± 29
Mean	394 ± 33ab

**Cosa succede alla frazione minerale.....?**



## Misuriamo la stabilità biologica

**Table 1**

Chemical characteristics of the mixture sampled at different time during the anaerobic digestion.

	Samples group		
	A (n = 9)	B (n = 10)	C (n = 10)
TS (g kg FM <sup>-1</sup> )	162 ± 29	59.1 ± 16.4	36 ± 6
VS (g kg TS <sup>-1</sup> )	896 ± 5	751.3 ± 7	684 ± 11
TOC (g kg TS <sup>-1</sup> )	427 ± 5	404 ± 18	377 ± 2
TKN (g kg TS <sup>-1</sup> )	32 ± 2	65 ± 1	110 ± 1
NH <sub>3</sub> -N (g kg TS <sup>-1</sup> )	0.52 ± 0.07	33.3 ± 0.8	68.4 ± 1.6
C/N ratio (g kg TS <sup>-1</sup> )	13.43 ± 0.06	6.74 ± 0.05	3.43 ± 0.01
VFA (g acetic acid kg TS <sup>-1</sup> )	47.7 ± 1.3	51.1 ± 1.7	18.9 ± 0.5
OD <sub>20</sub> (mg O <sub>2</sub> g TS <sup>-1</sup> 20 h <sup>-1</sup> )	235 ± 62	101 ± 20	30 ± 20
ABP (NL kg TS <sup>-1</sup> )	582 ± 11	235 ± 12	77 ± 8
Lignin + no hydrolysable lipids (g kg TS <sup>-1</sup> )	72 ± 3	201 ± 7	243 ± 8
Hemicellulose (g kg TS <sup>-1</sup> )	27 ± 2	68 ± 6	54 ± 3
Cellulose (g kg TS <sup>-1</sup> )	71 ± 2	98 ± 8	79 ± 2
Cell. soluble (g kg TS <sup>-1</sup> )	830 ± 11	633 ± 9	624 ± 10

N aumenta

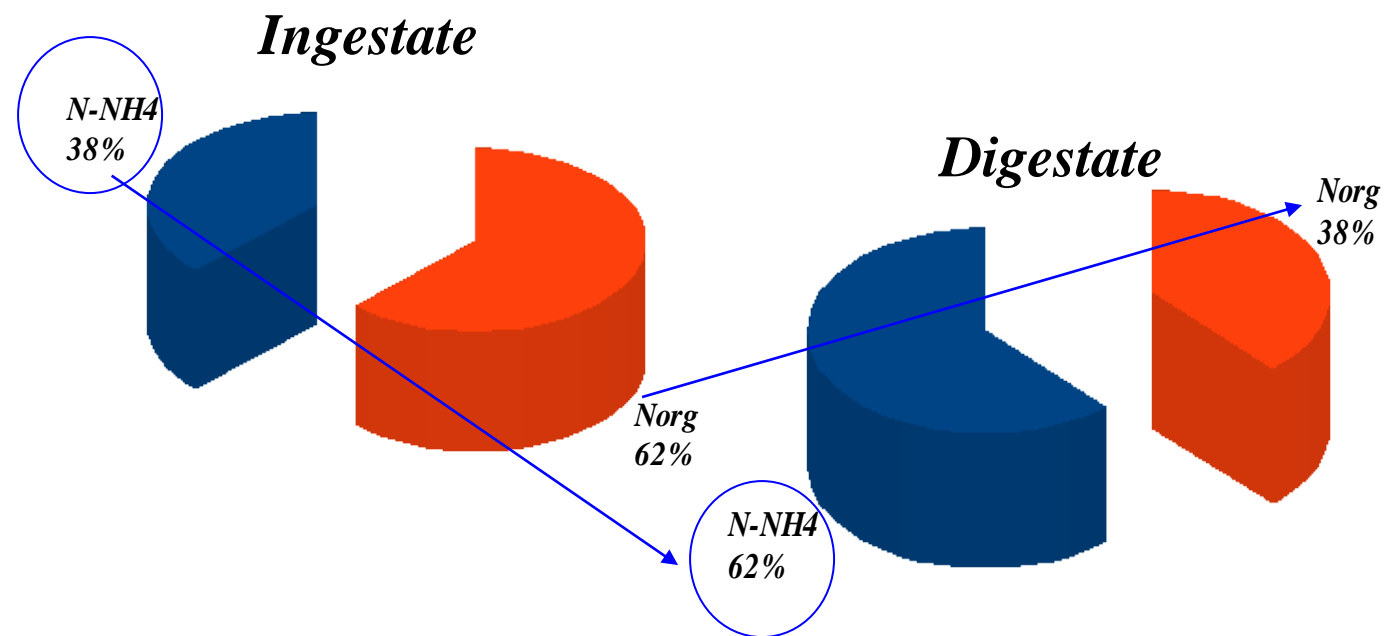
A = ingestati: 32 g/kg ss (N-NH<sub>4</sub>/NTK= 1.6%)

B = dopo DA ca 40 d: 65 g/kg ss (N-NH<sub>4</sub>/NTK 51.2%)

C = dopo DA ca 50 d: 110 g/kg ss (N-NH<sub>4</sub>/NTK 62%)



## Digestione Anaerobica: conservative per N



**Table 1**

Characteristics of the anaerobic digestion plants that originated the digestates.

Plants	Infeed biomasses	Rated power kWh
1	Pig slurry + energetic crops	999
2	Pig slurry + energetic crops	999
3	Pig slurry + energetic crops + cornmeal + milk whey	999
4	Pig slurry + agro-industrial residues	999
5	Pig slurry + energetic crops	999
6	Cow slurry + energetic crops	999
7	Energetic crops + milk whey	340
8	Energetic crops	650
9	Cow slurry + energetic crops	999
10	Cow slurry + cow manure + energetic crops + molasses	999
11	Cow slurry + energetic crops	999
12	Cow slurry + energetic crops + poultry manure	380
13	Cow slurry + energetic crops	999

Elevato contenuto di N minerale

Plants	Samples	DM g kg <sup>-1</sup> FM	TKN g kg <sup>-1</sup> DM	TAN	TAN/TKN %	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> tot g kg <sup>-1</sup> DM	TKN/P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> tot
	D average	61.1 ± 12.5 a	80.6 ± 13.3b	48.9 ± 26.1b	54.9 ± 8.2b	35.6 ± 11.1 a	2.37 ± 0.64b
	LF average	44.8 ± 9.3 a	97.5 ± 19.4b	59.9 ± 20.3b	59.8 ± 9.8b	37.3 ± 12.8 a	2.78 ± 0.87b
	SF average	212 ± 34b	28.7 ± 5.9 a	10.1 ± 3.5 a	35.1 ± 9.1 a	29.9 ± 10.6 a	1.05 ± 0.36 a

Elevata stabilità biologica componente organica

**Table 2**

Chemical characteristics and biological stability for the liquid fractions of digestate.

Samples	DM <sup>a</sup> g kg <sup>-1</sup> FM (% DM digestate)	TOC g kg <sup>-1</sup> DM	TKN <sup>a</sup>	N-NH <sub>4</sub> /TKN <sup>a</sup> %	C/N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> tot <sup>a</sup> g kg <sup>-1</sup> DM	OD <sub>20</sub> mg O <sub>2</sub> g DM <sup>-1</sup> 20 h <sup>-1</sup>	GI %
LF1	33.8 ± 9.2(74.93)	352 ± 11	121 ± 29	70.7 ± 9.5	2.90	49.5 ± 1.7	52.4 ± 3.3	31 ± 5
LF2	42.9 ± 0.6(68.71)	358 ± 17	85.1 ± 2.6	58.4 ± 3.8	4.20	34.8 ± 1.2	38.0 ± 1.2	22 ± 3
LF3	62.3 ± 2.2(58.22)	344 ± 13	82.3 ± 0.5	52.2 ± 1.8	4.18	24.8 ± 2.6	13.5 ± 0.5	44 ± 3
LF4	58.4 ± 9.4(50.80)	377 ± 22	82.8 ± 4.9	62.6 ± 10.9	4.55	40.0 ± 7.4	38.9 ± 4.2	21 ± 3
LF5	56.3 ± 4.3(57.85)	359 ± 17	73.0 ± 7.9	39.2 ± 8.7	4.93	30.2 ± 0.5	30.4 ± 3.2	21 ± 5
LF6	36.5 ± 2.2(64.26)	369 ± 12	112 ± 23	55.6 ± 3.7	3.29	56.8 ± 2.9	44.6 ± 1.4	28 ± 4
LF7	48.6 ± 2.7(65.56)	330 ± 15	81.4 ± 3.8	56.9 ± 1.2	4.06	29.5 ± 1.1	23.8 ± 4.1	36 ± 9
LF8	35.9 ± 8.3(82.81)	324 ± 18	119 ± 31	68.6 ± 4.9	2.70	26.1 ± 0.1	32.6 ± 3.5	40 ± 8
LF9	37.9 ± 2.9(71.84)	349 ± 24	105 ± 5	68.6 ± 1.8	3.30	57.9 ± 0.5	60.6 ± 13.6	17 ± 2
LF10	44.9 ± 10.5(58.96)	366 ± 10	119 ± 27	72.1 ± 1.3	3.08	56.0 ± 1.4	41.2 ± 2.3	50 ± 8
LF11	46.6 ± 5.2(74.76)	415 ± 15	124 ± 12	68.0 ± 1.3	3.35	28.9 ± 1.6	64.0 ± 10.5	28 ± 4
Averages	44.8 ± 9.3 (66.25 ± 9.44)	358 ± 25	97.5 ± 19.5	61.2 ± 9.9	3.69 ± 0.73	39.5 ± 13.1	40.1 ± 15.1	31 ± 11

Media DL = 40.1 ± 15

Compost = 41 ± 5

<sup>a</sup> Tambone et al., 2017; LF: Liquid Fraction; DM: Dry Matter; TOC: Total Organic Carbon; TKN: Total Kjeldahl Nitrogen; OD: Oxygen Demand; GI: Germination Index; FM: Fresh Matter.

## Ripartizione N nelle frazioni solida e liquida (separatore a vite)

**Table 3**

Breakdown of Dry Matter, TKN and total P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> in the SF and LF by separation.

Plants	DM <sup>1</sup>		TKN <sup>2</sup>		P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> <sup>3</sup>	
	SF (% DM)	LF (% DM)	SF (% TKN)	LF (% TKN)	SF (% P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	LF (% P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )
1	17.19	82.81	5.54	94.46	17.14	82.86
2	25.24	74.76	9.69	90.31	30.86	69.14
3	35.74	64.26	9.28	90.72	16.58	83.42
4	28.16	71.84	7.65	92.35	15.45	84.55
5	25.07	74.93	8.11	91.89	26.04	73.96
6	31.29	68.71	10.70	89.30	33.90	66.10
7	42.15	57.85	19.06	80.94	38.64	61.36
8	41.78	58.22	23.94	76.06	53.96	46.04
9	21.37	78.63	8.10	91.90	10.03	89.97
10	41.04	58.96	15.06	84.94	22.76	77.24
11	34.44	65.56	18.12	81.88	38.12	61.88
12	49.20	50.80	23.59	76.41	33.28	66.72
13	29.37	70.63	11.85	88.15	31.96	68.04
Average	32.46 ± 9.32	67.54 ± 9.32	13.13 ± 6.21	86.87 ± 6.21	28.36 ± 12.02	71.64 ± 12.02

DM: Dry Matter; SF: Solid Fraction; LF: Liquid Fraction.

<sup>1</sup> Distribution (%) of DM that from digestates flows into SF and LF.

<sup>2</sup> Distribution (%) of TKN that from digestates flows into SF and LF.

<sup>3</sup> Distribution (%) of P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> that from digestates flows into SF and LF.

## S/L separation(full scale)

$N-NH_4/P = 4-12$

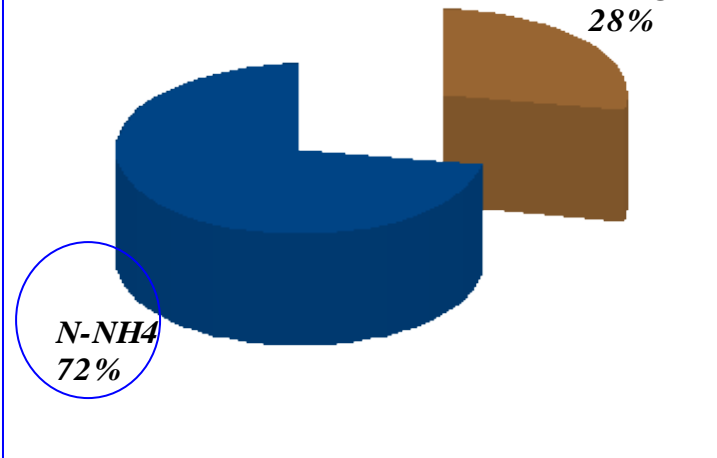
$N-NH_4/K = 1-6$

Separato Liquido  
90.4%

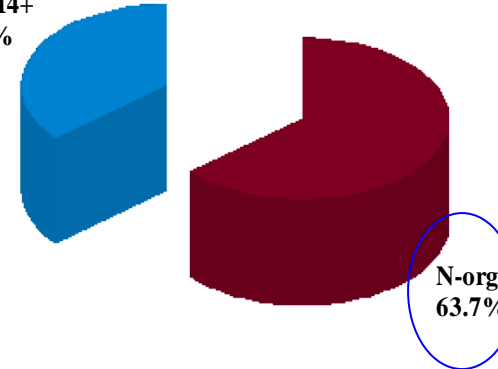


Separazioni spinte  
permettono di ottenere  
soluzioni ammoniacali

$N-NH_4 / N-org.$



N-NH4+  
36.3%



## P speciazione durante la DA. P ad elevate disponibilità

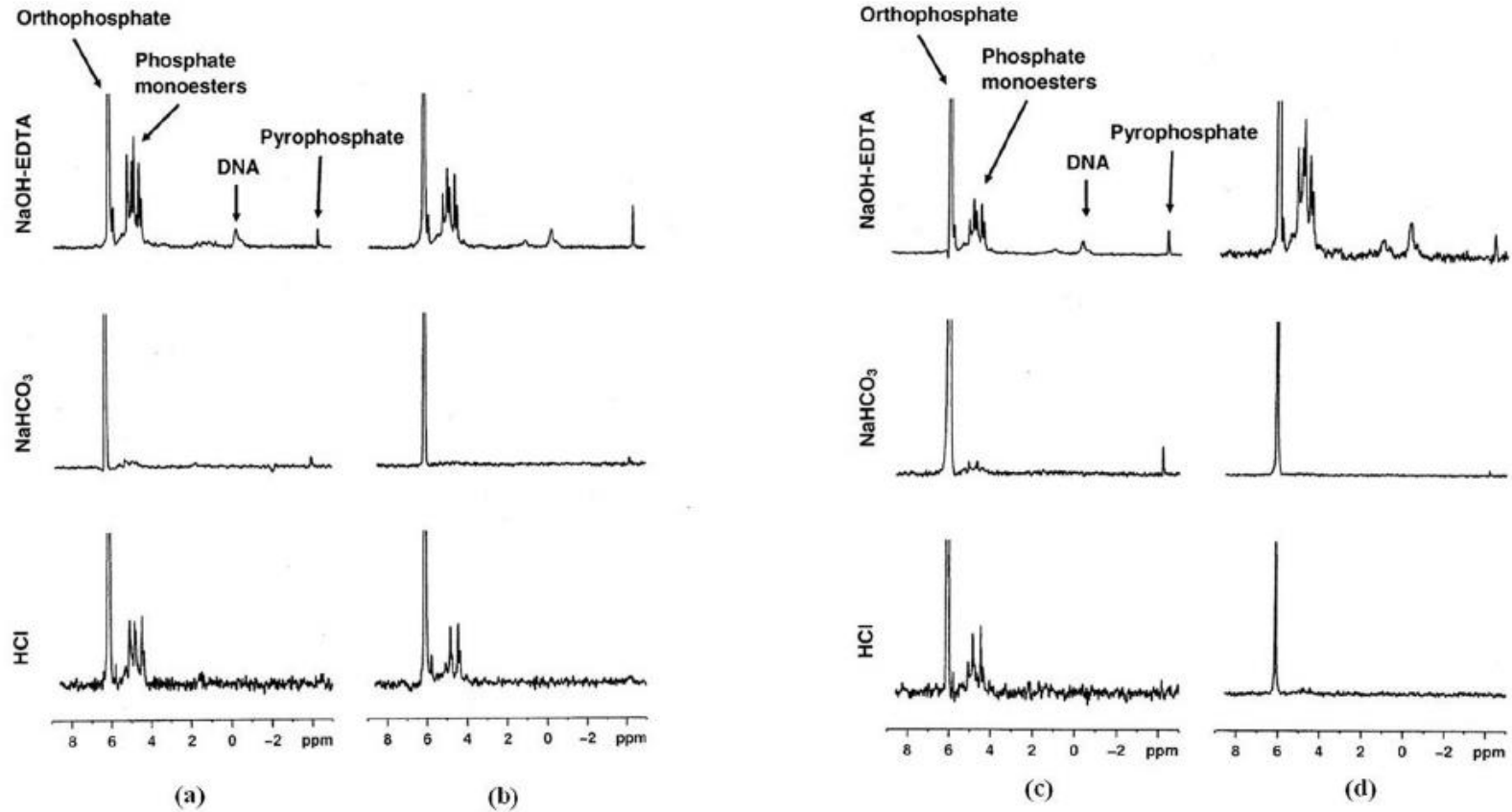


Fig. 2.  $^{31}\text{P}$  NMR spectra of (a) ingestate, (b) digestate, (c) liquid fraction and (d) solid fractions of plant F in different extraction conditions.



## Utilizzo agronomico del digestato



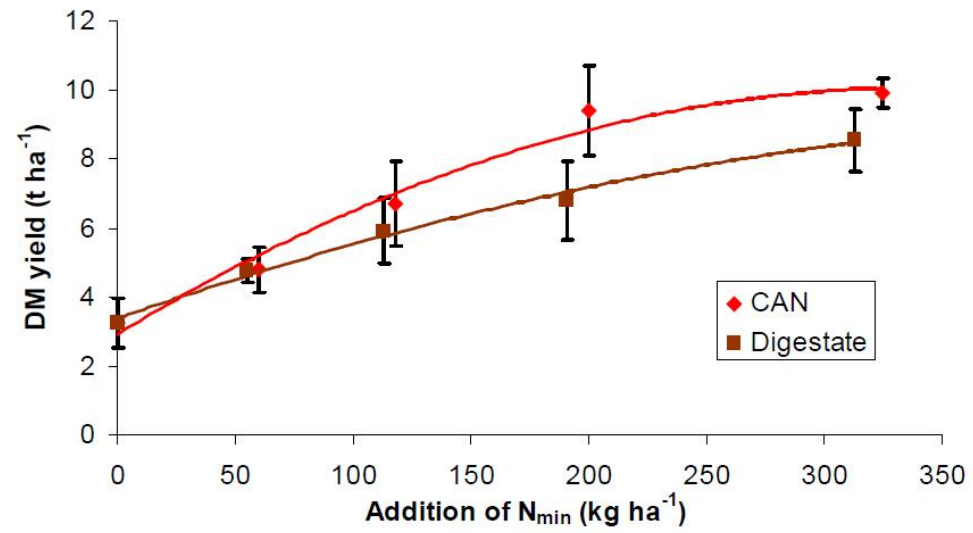


Fig. 2. N response for CAN and digestate (2nd order polynomial)

CAN: Calcium ammonia nitrate nitrate

*Dieterich et al, 2008*





ELSEVIER

Contents lists available at ScienceDirect

## Science of the Total Environment

journal homepage: [www.elsevier.com/locate/scitotenv](http://www.elsevier.com/locate/scitotenv)



### Short-term experiments in using digestate products as substitutes for mineral (N) fertilizer: Agronomic performance, odours, and ammonia emission impacts



C. Riva<sup>a</sup>, V. Orzi<sup>a</sup>, M. Carozzi<sup>b</sup>, M. Acutis<sup>b</sup>, G. Boccasile<sup>c</sup>, S. Lonati<sup>a</sup>, F. Tambone<sup>a</sup>, G. D'Imporzano<sup>a</sup>, F. Adani<sup>a,\*</sup>

<sup>a</sup> Gruppo Ricicla, Lab. Agricoltura e Ambiente, DiSAA, Università degli Studi di Milano, Via Celoria 2, 20133 Milano, Italy

<sup>b</sup> DiSAA, sez. Agronomia, Università degli Studi di Milano, Via Celoria 2, 20133 Milano, Italy

<sup>c</sup> DG Agricoltura, Regione Lombardia, Piazza Lombardia, Milano, Italy

# Caratteristiche digestato separato liquido

**Table 3**  
Chemical characterization of digestate and liquid fraction of digestate used in field trials.

			TS (% ww)	VS (% ww)	pH	TKN (g N kg <sup>-1</sup> ww)	TAN (g NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> kg <sup>-1</sup> ww)	TAN/TKN (%)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (g kg <sup>-1</sup> ww)	K <sub>2</sub> O (g kg <sup>-1</sup> ww)	OD20 (mg O <sub>2</sub> g <sup>-1</sup> TS)
First campaign	Pre-sowing	Digestate	7.4 ± 0.1e <sup>a</sup>	5.7 ± 0.1e(76.8) <sup>b</sup>	8.1 ± 0.4a	3.4 ± 0.1c (45.9) <sup>a</sup>	2 ± 0b (27) <sup>a</sup>	59	1.88 ± 0.02d (25.46) <sup>a</sup>	4.66 ± 0.04c (62.93) <sup>a</sup>	24.7 ± 4.4a
	Topdressing	Digestate	6.3 ± 0.1d	4.7 ± 0.1d (76.2) <sup>a</sup>	7.8 ± 0.1a	4.1 ± 0.1d (65.1) <sup>a</sup>	2.4 ± 0.1c (38.1) <sup>a</sup>	59	1.58 ± 0.02c (25.45) <sup>a</sup>	4.36 ± 0.02c (70.47) <sup>a</sup>	25.7 ± 0.7a
		Separated liquid fraction of digestate	2.2 ± 0.1a	1.6 ± 0.1a (72.4) <sup>a</sup>	8.0 ± 0.2a	2.7 ± 0.1a (122.7) <sup>a</sup>	2.1 ± 0.1b (95.4) <sup>a</sup>	78	0.54 ± 0.02a (24.72) <sup>a</sup>	1.84 ± 0.04a (83.56) <sup>a</sup>	64.1 ± 7.3c
Second campaign	Pre-sowing	Separated liquid fraction of digestate	3.5 ± 0.1b	2.3 ± 0.1b (71.0)	7.9 ± 0.3a	3 ± 0b (85.7) <sup>a</sup>	1.9 ± 0.1a (54.8) <sup>a</sup>	63 (51) <sup>c</sup>	0.72 ± 0.02b (22.64)	3.51 ± 0.08b (109.58)	37.2 ± 3.7b
	Topdressing	Separated liquid fraction of digestate	3.9 ± 0.1c	2.7 ± 0.1c (69.9) <sup>a</sup>	7.8 ± 0.2a	3 ± 0b (76.9) <sup>a</sup>	1.7 ± 0.1a (17.9) <sup>a</sup>	59 (50) <sup>c</sup>	0.54 ± 0.01a (14.1) <sup>a</sup>	6.86 ± 0.07d (176) <sup>a</sup>	26.5 ± 3.3a

<sup>a</sup> Values of the same column followed by the same letter are not statistically different (ANOVA bootstrap and Tukey test, p < 0.05).

<sup>b</sup> Data reported on TS basis.

<sup>c</sup> TAN/TKN (%) of digestate from which liquid fraction was derived.

N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>/Total N

Ottima stabilità Biologica

## Utilizzo del separato liquido in sostituzione dei fertilizzanti N di sintesi (UREA)

**Table 1**  
Experimental plan design.

First campaign (2012)				
Treatment	Pre-sowing (130 kg N ha <sup>-1</sup> )	Application modality	Topdressing (200 kg N ha <sup>-1</sup> )	Application modality
T1a-T1b	Blank – no fertilization	n.a. <sup>a</sup>	Blank – no fertilization	n.a.
T2a-T2b	Digestate	Surface	Digestate	Injected
T3a-T3b	Urea	Surface	Urea: application	Surface
T4a-T4b	Digestate	Injected	Separate liquid fraction of digestate	Injected
Second campaign (2013)				
Treatment	Pre-sowing (180 kg N ha <sup>-1</sup> )		Topdressing (160 kg N ha <sup>-1</sup> )	
T1a-T1b	Blank – no fertilization	n.a.	Blank	n.a.
T2a-T2b	Separate liquid fraction of digestate	Surface	Separate liquid fraction of digestate	Injected
T3a-T3b	Urea	Surface	Urea	Surface
T4a-T4b	Separate liquid fraction of digestate	Injected	Separate liquid fraction of digestate	Injected

<sup>a</sup> No application.

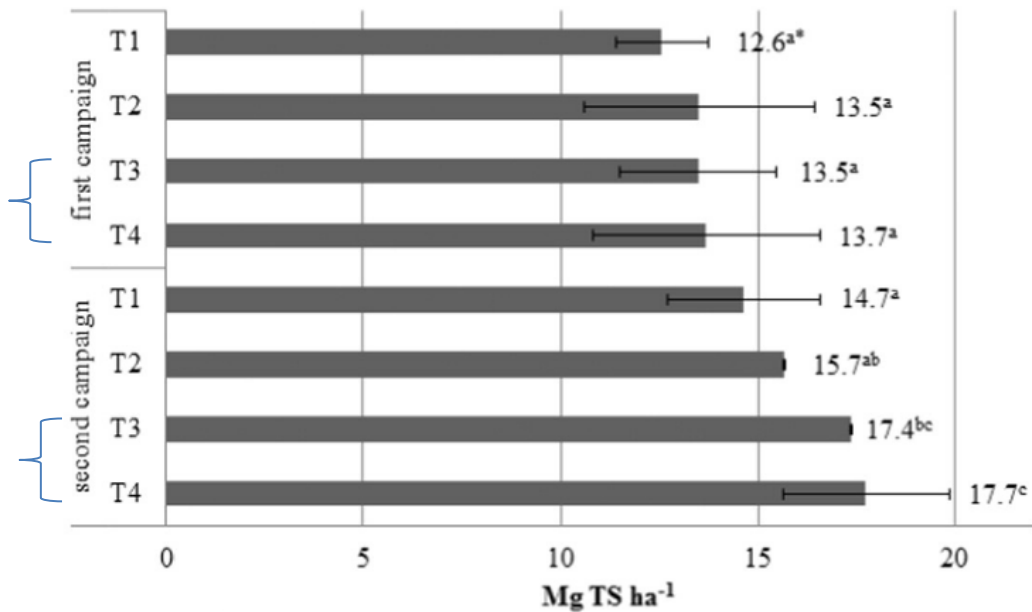
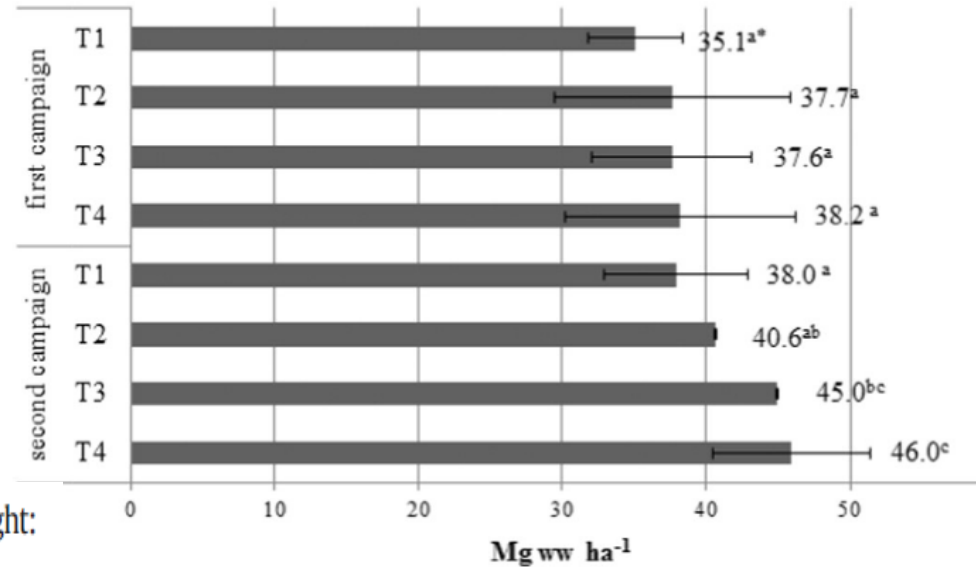
T3 = urea

T4 = digestato iniettato

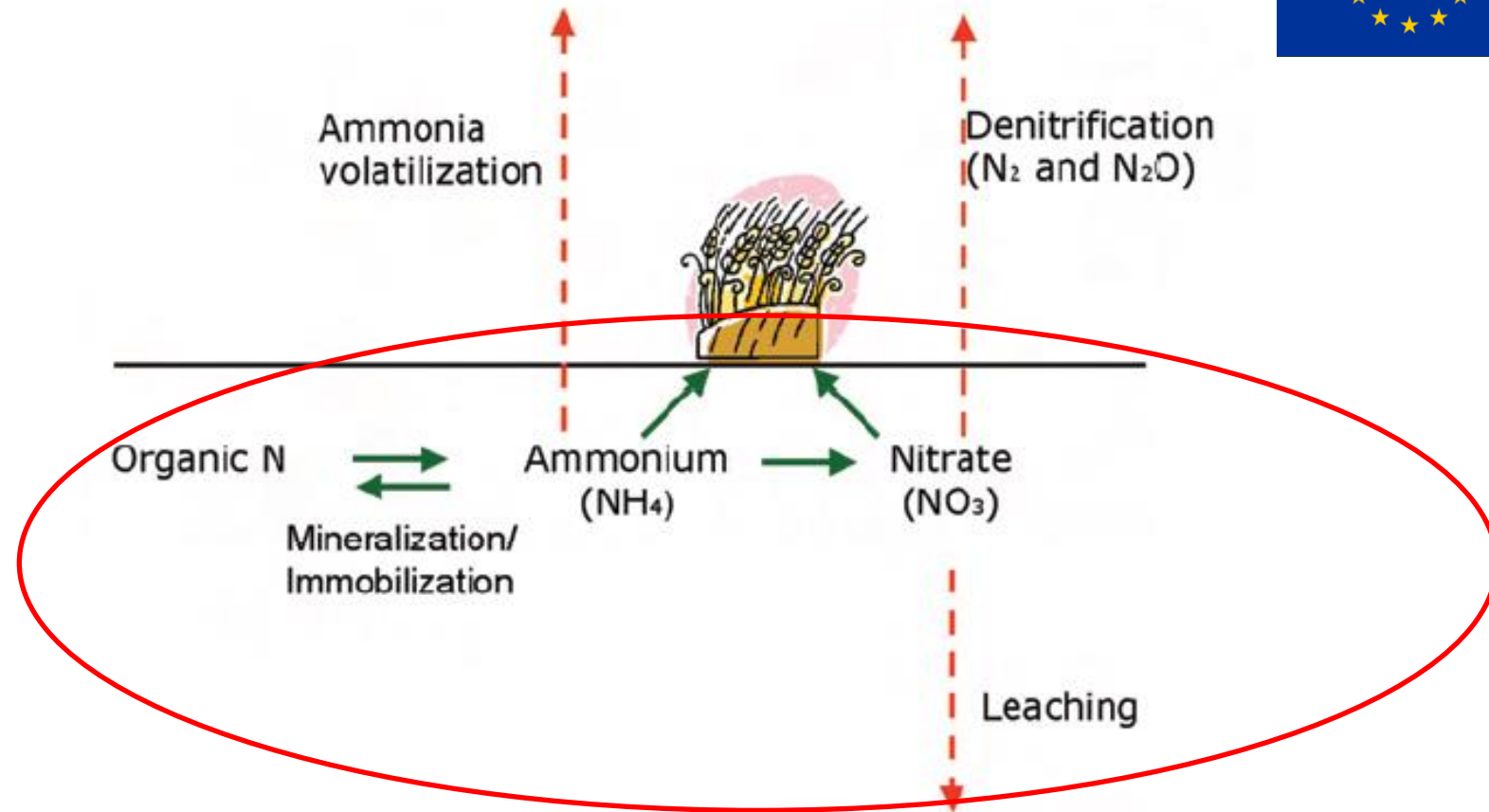
Fig. 2. Maize silage production of for each treatment studied (wet weight: top; dry weight: bottom).

T3 = urea

T4 = Separato liquido digestato iniettato

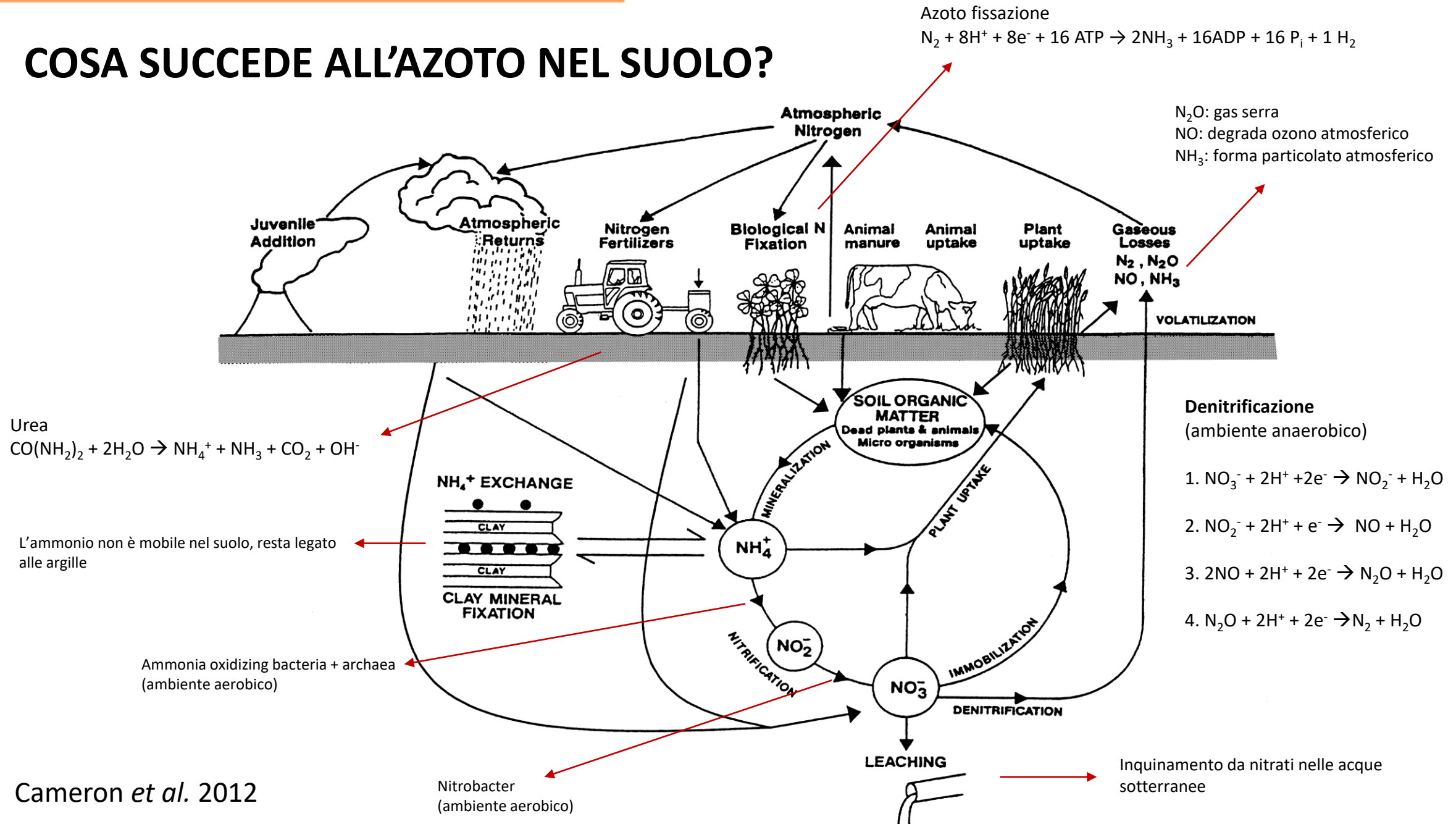


\*Value in the same campaign followed by the same letter are not statistically different (Duncan test, P<0.05)

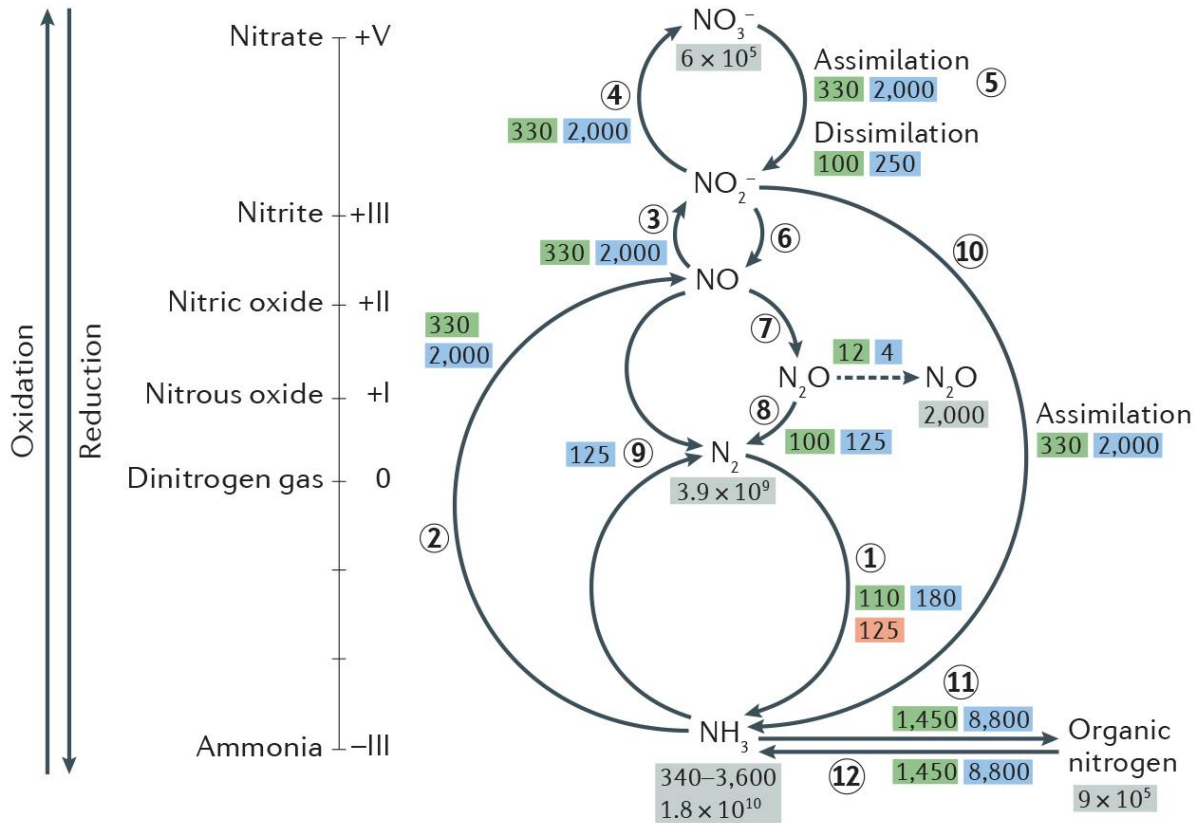


**Figure 1.** *The most important N transformations and losses after application of animal manure to soil.*

# COSA SUCCEDE ALL'AZOTO NEL SUOLO?



# I PROCESSI NEL DETTAGLIO



**Nitrogen-transforming processes**

- Nitrogen fixation ①
- Nitrification ② ③ ④
- Denitrification ⑤ ⑥ ⑦ ⑧
- Anammox ⑥ ⑨
- Assimilation ⑤ ⑩ and ⑪
- Ammonification ⑫

Legend:

- Grey box: Nitrogen inventory (teragram)
- Green box: Terrestrial nitrogen flux (teragram per year)
- Blue box: Marine nitrogen flux (teragram per year)
- Orange box: Anthropogenic nitrogen flux (teragram per year)

Due processi ci interessano particolarmente:  
Nitrificazione e Denitrificazione

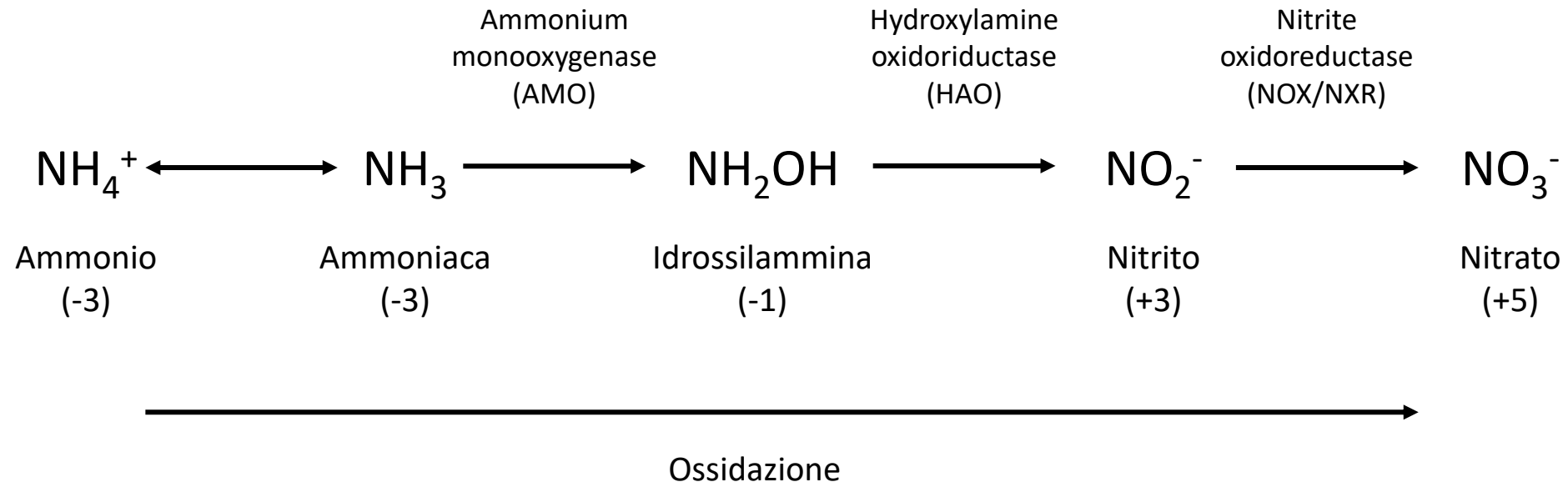
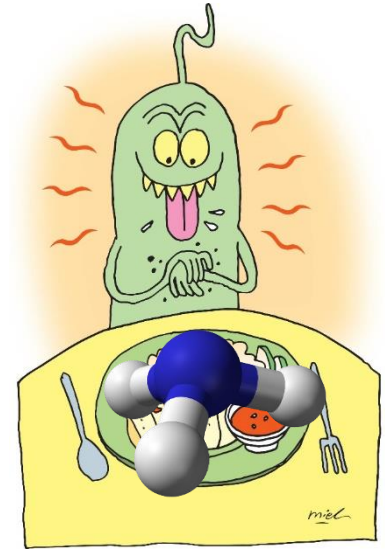
Alcuni microorganismi possono fare solo un passaggio, altri più di uno in modo sequenziale o alternativo

# LA NITRIFICAZIONE

Responsabili: batteri, archaea e eucarioti

I microorganismi nitrificanti si nutrono di ammonio (chemolitoautotrofi)

È un processo aerobio, avviene a pH 4.5 – 7.5 e temperatura sopra i 5°C (ottimale tra 25 e 30 °C)



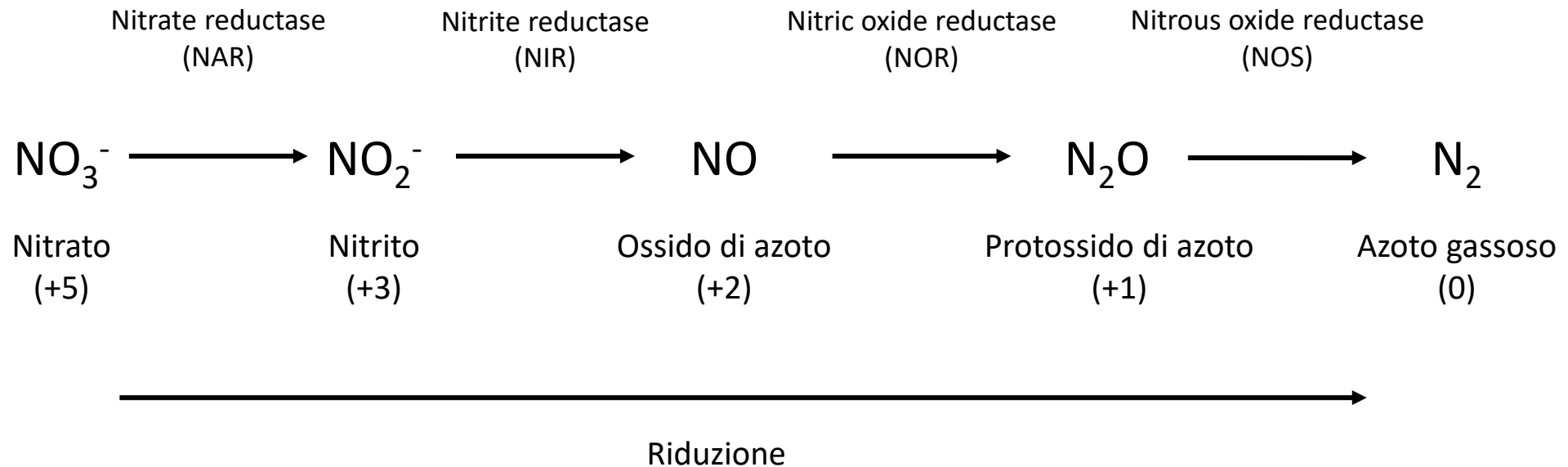


# LA DENITRIFICAZIONE

Responsabili: batteri, archaea e eucarioti

I microorganismi denitrificanti respirano il nitrato

È un processo anaerobio avviene a pH 7 – 11 e temperatura 10 – 25°C (più è alta e più l'ultimo step è sfavorito)





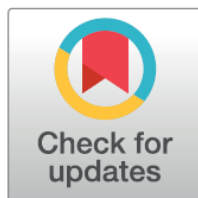
## RESEARCH ARTICLE

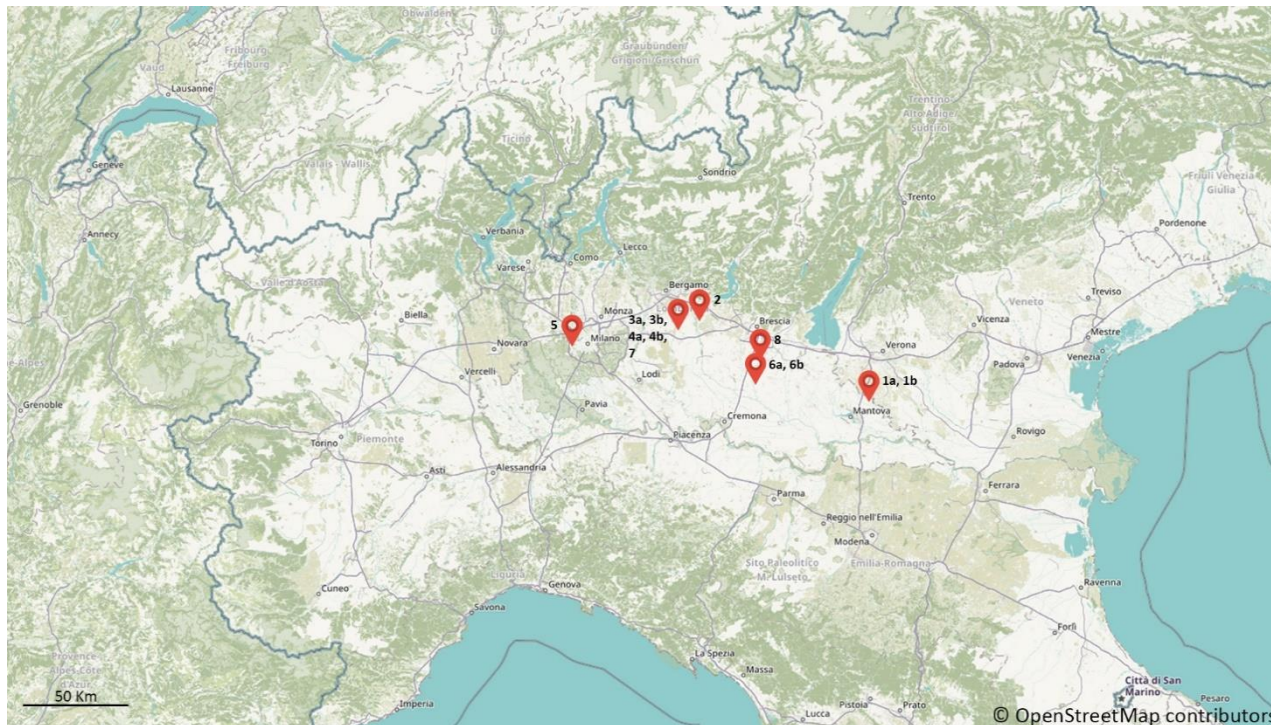
# The distribution of functional N-cycle related genes and ammonia and nitrate nitrogen in soil profiles fertilized with mineral and organic N fertilizer

**Massimo Zilio**<sup>1</sup>, **Silvia Motta**<sup>2</sup>, **Fulvia Tambone**<sup>1</sup>, **Barbara Scaglia**<sup>1</sup>, **Gabriele Boccasile**<sup>3</sup>, **Andrea Squartini**<sup>4</sup>, **Fabrizio Adani**<sup>1\*</sup>

**1** Gruppo Ricicla labs., DiSAA, Università degli Studi di Milano, Milan, Italy, **2** Ente Regionale per i Servizi alla Agricoltura e alle Foreste, Regione Lombardia, Milan, Italy, **3** DG Agricoltura, Regione Lombardia, Milan, Italy, **4** DAFNAE, Università degli Studi di Padova, Agripolis, Padua, Italy

\* [fabrizio.adani@unimi.it](mailto:fabrizio.adani@unimi.it)



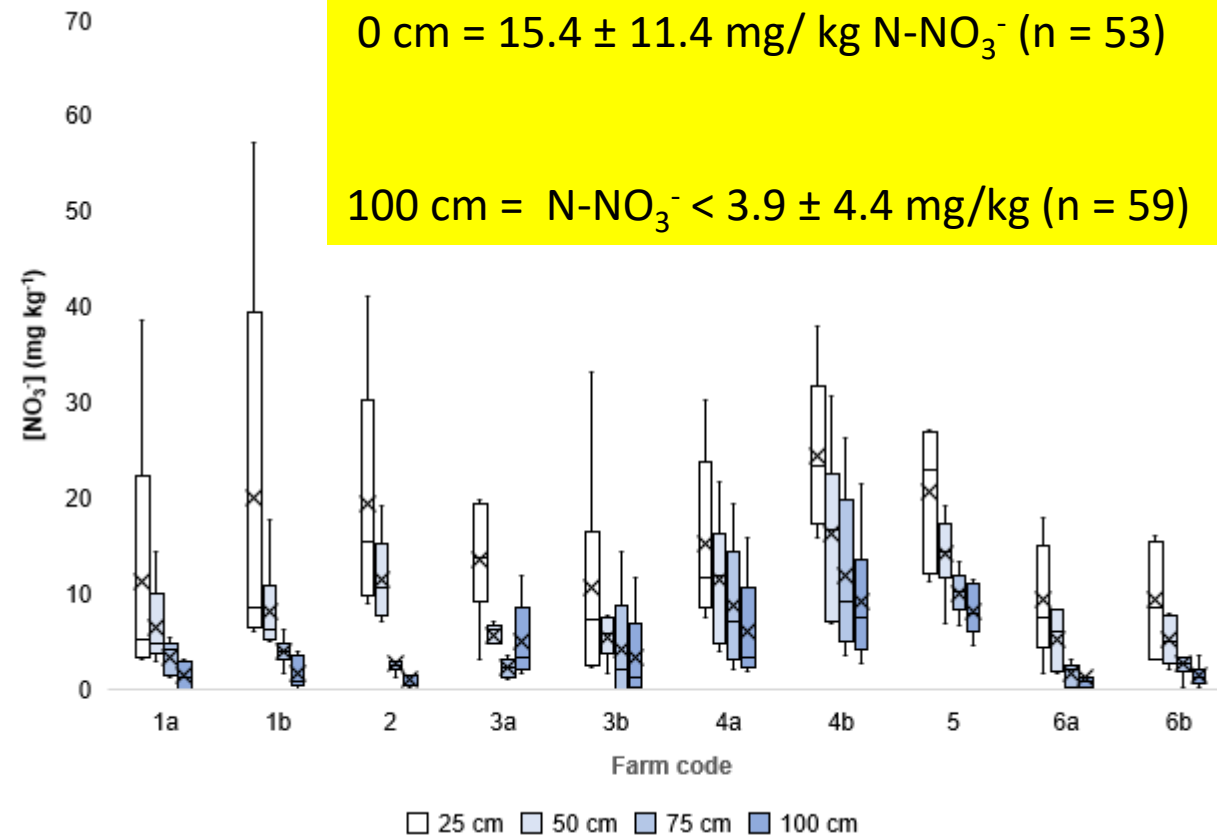


6 suoli

Min = 153 kg/Ha N

Max = 454 kg/Ha N

**Figure S1.** Geographical location of the soils exploited in this work. The reported cartographic table, excluding the points of interest, was obtained from OpenStreetMap.org. The data is available under the Open Database License, and the cartographic table is published with a CC BY-SA license.



**Fig. 1.** Nitrate concentration in soil. For each experiment, divided for depth classes, the box plot shows minimum and maximum values sampled (bars), the first and the third quartile (boxes), the median (lines inside boxes) and the average (crosses);  $n = 248$ .

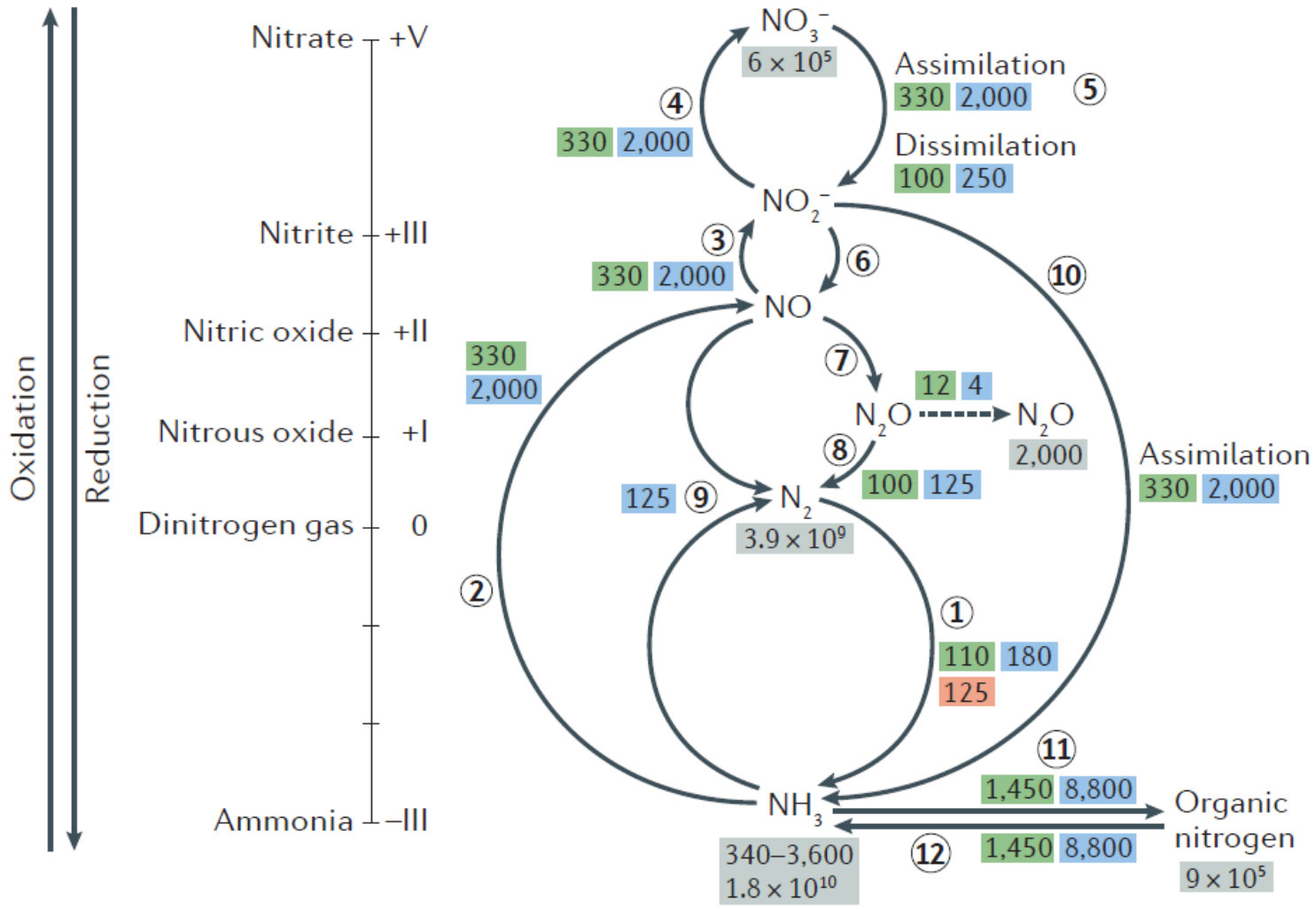


Vi era sempre una ottima correlazione tra batteri deputati alla ammonificazione, nitrificazione, denitrificazione dell' azoto, soprattutto negli strati superficiali 0-50 cm)

**b**

	<i>amoA</i> archaea 0-50 cm	<i>amoA</i> eubacteria 0-50 cm	<i>nifH</i> 0-50 cm	<i>nirK</i> 0-50 cm	<i>nosZ</i> 0-50 cm	N-NO <sub>3</sub> 0-50 cm
<i>amoA</i> eubacteria 0-50 cm	0.981*					
<i>nifH</i> 0-50 cm	0.962*	0.977*				
<i>nirK</i> 0-50 cm	0.907*	0.939*	0.847*			
<i>nosZ</i> 0-50 cm	0.975*	0.995*	0.992*	0.907*		
N-NO <sub>3</sub> 0-50 cm	0.580	0.635*	0.521	0.787*	0.599	
N-NH <sub>4</sub> 0-50 cm	0.742*	0.756*	0.660*	0.809*	0.711*	0.444

**Fig 5. Principal component analysis (axes F1 and F2: 80.13% of total variance).** a: PCA output. Solid lines show the projections of the initial variables in the factorial space: green lines indicate the number of gene copies in soil, blue lines indicate soil chemical characteristics, orange lines indicate soil physical characteristics, red line indicates the amount of N dosed on the soils. Black dots show the position of the experiments in the factorial space. Round brackets show the average concentration of nitrates measured at 1-meter depth. Square brackets show the result of two-way ANOVA analysis on nitrate concentration ( $p < 0.05$ ;  $F = 4.1251$ ; Duncan test). Experiments' labels show the soil code. Axis titles report the variables linked to each axis. **b:** correlation matrix (Pearson) containing: the number of gene copies per gram of soil for *amoA* archaea, *amoA* eubacteria, *nifH*, *nirK* and *nosZ*, the N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> and N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> concentration (mg kg<sup>-1</sup> of soil, n = 189. \* = the correlation is significant at level 0.05 (two-tailed test)).



**Nitrogen-transforming processes**

Nitrogen fixation ①

Nitrification ② ③ ④

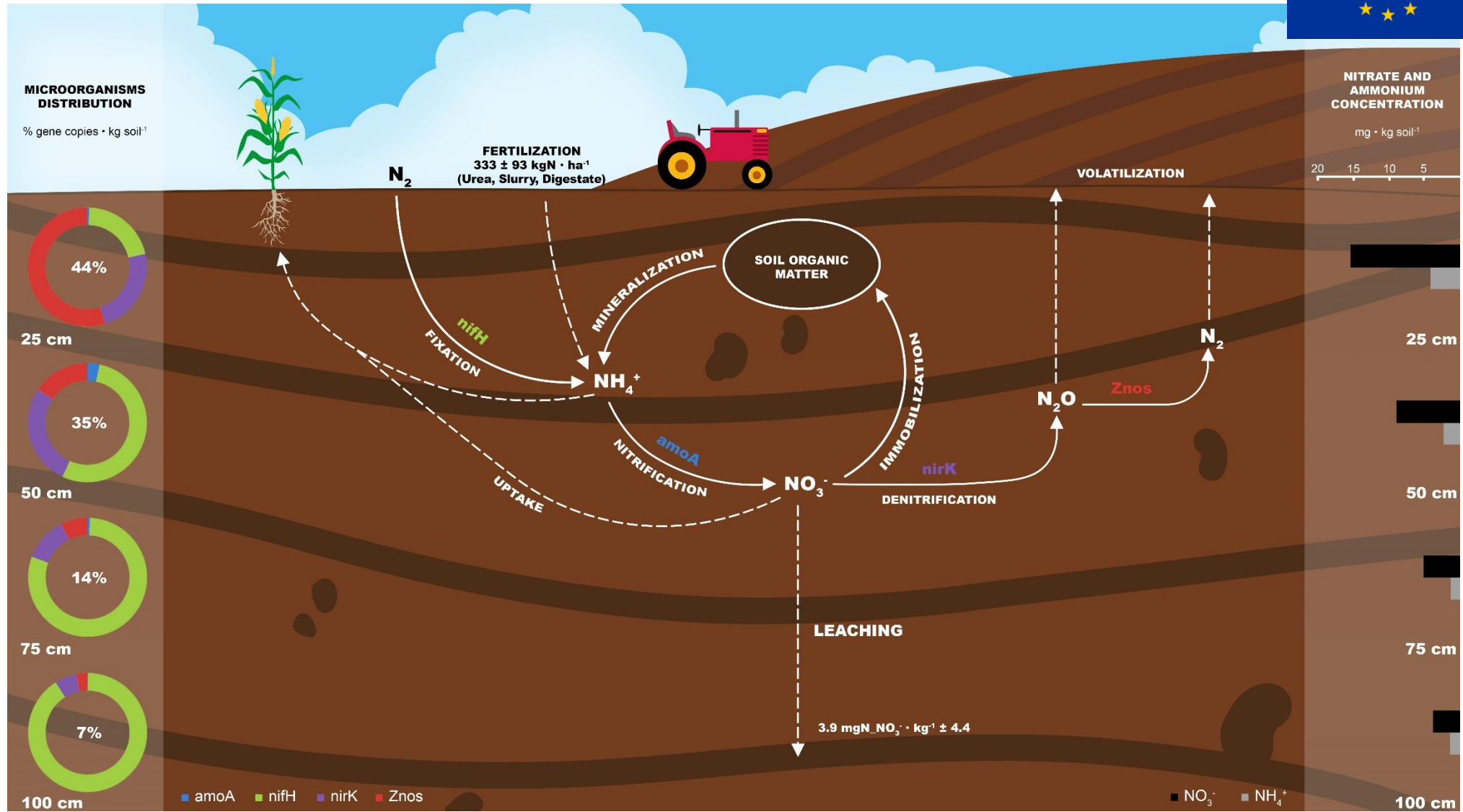
Denitrification ⑤ ⑥ ⑦ ⑧

Anammox ⑥ ⑨

Assimilation ⑤ ⑩ and ⑪

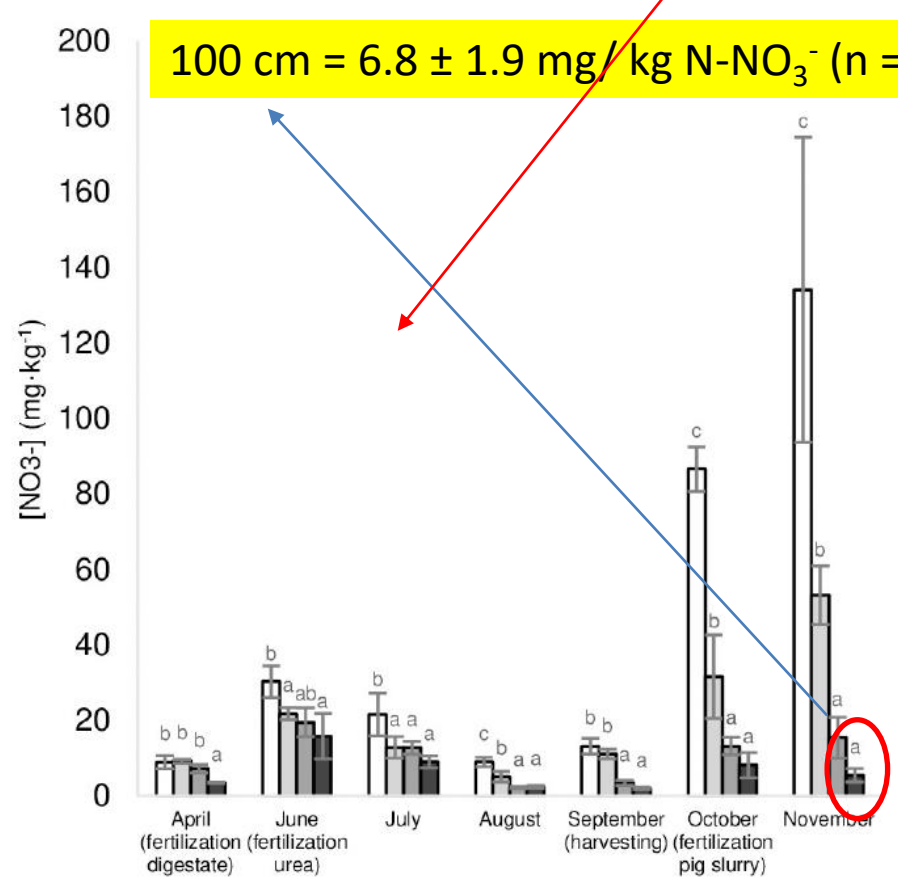
Ammonification ⑫

- Grey box: Nitrogen inventory (teragram)
- Green box: Terrestrial nitrogen flux (teragram per year)
- Blue box: Marine nitrogen flux (teragram per year)
- Orange box: Anthropogenic nitrogen flux (teragram per year)

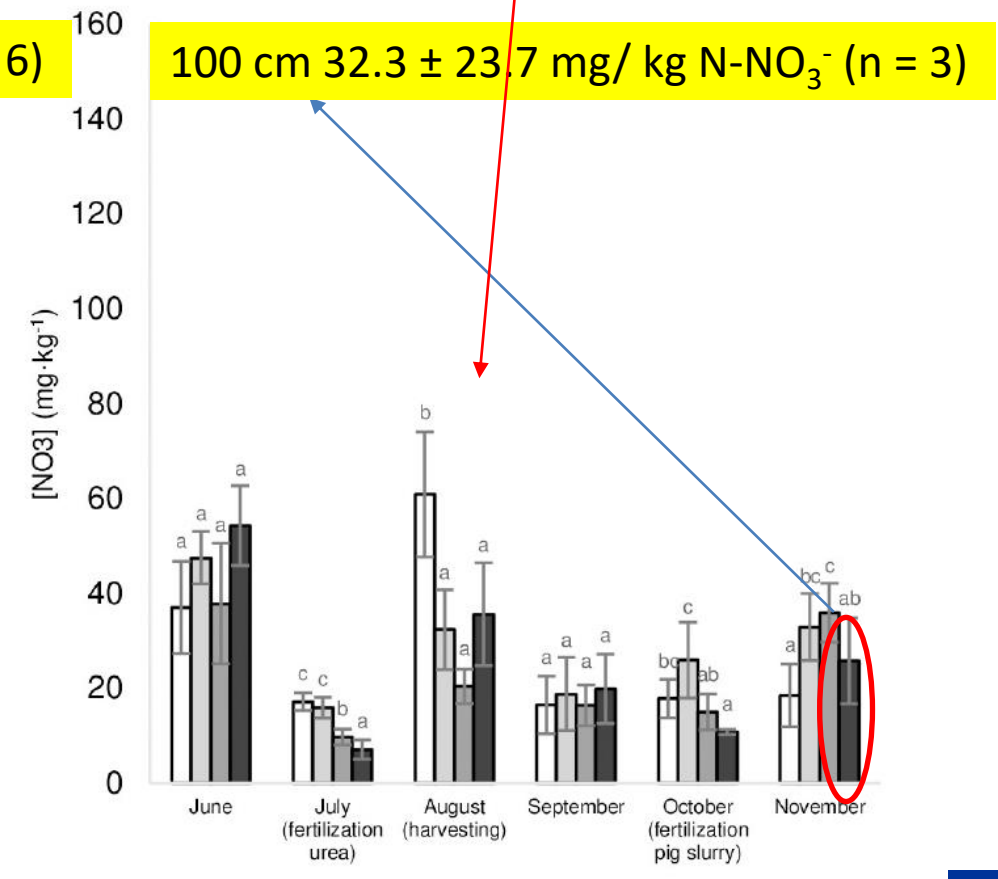


Ma se N dosato era : 1,243 kg N Ha<sup>-1</sup> (suolo argilloso) e 1,470 kg N Ha<sup>-1</sup> (suolo sabbioso)

**a**



**b**







## Conclusions

Results of this work suggest that with a normal N fertilization (up to  $450 \text{ kg N Ha}^{-1}$ ) the microbial populations of the soil involved in the N cycle were able to completely metabolize the nitrogen supplied with fertilization, whatever the soil characteristics, ensuring low nitrate content at one-meter depth. However, for higher N fertilization rates ( $1,243 \text{ kg N Ha}^{-1}$  and  $1,470 \text{ kg N Ha}^{-1}$ ), the activity of soil microorganisms was not able to metabolize all the nitrogen. In this case, the characteristics of the soil, i.e. texture, and seasonal rainfall, also regulated the presence of nitrate in soil profiles.

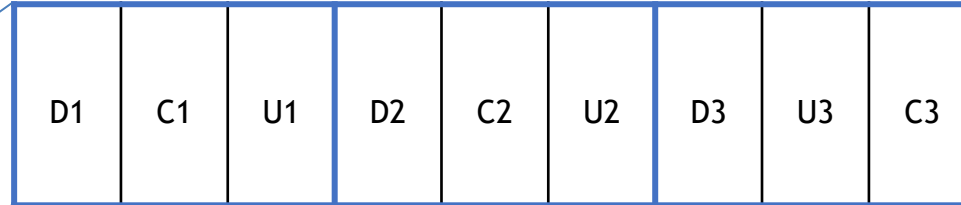
Aggiungo io: se i reflui fossero davvero dosati alle dosi previste non avremmo problema di nitrati, i.e. la direttiva nitrati è valida sulla carta ma non nella realtà !!!!!

# EXPERIMENTAL DESIGN SYSTEMIC and Nutri2Cycle: maize for grain for 3 years

THE SITE



THE FIELD



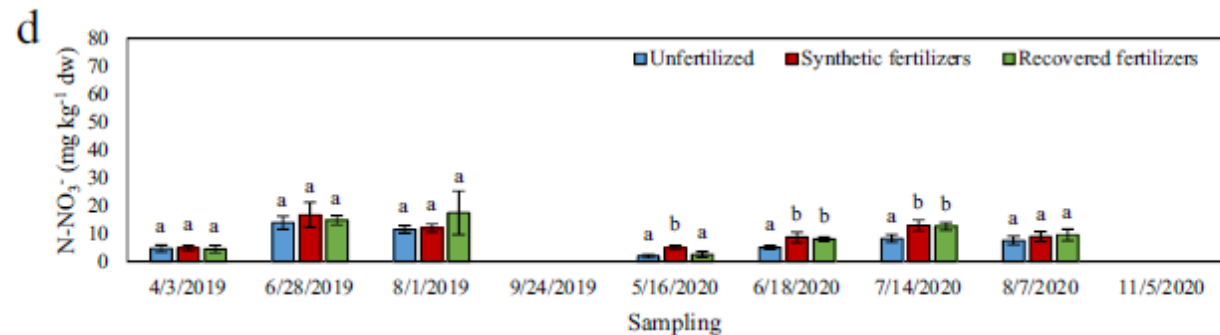
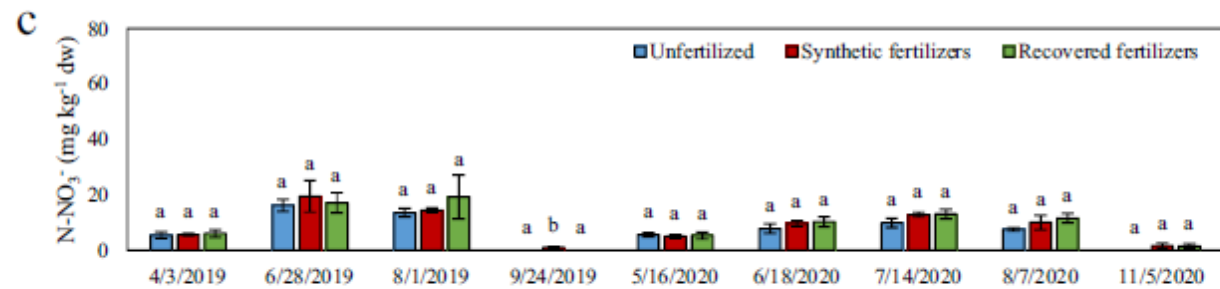
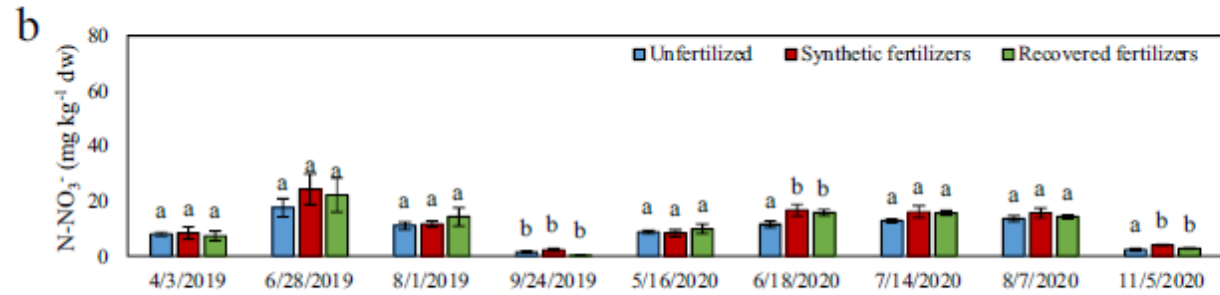
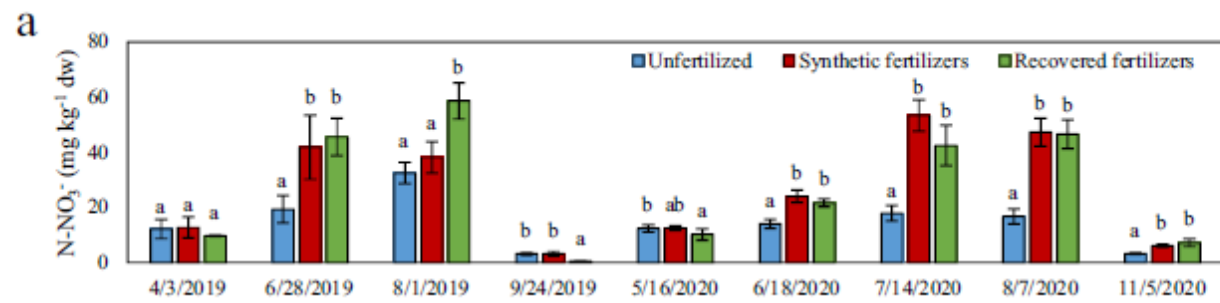
Plot	Treatment	Date	N (kg ha <sup>-1</sup> )
U	No fertilization		/
C	Urea	23/04/2018	185
	Ammonium sulphate	22/06/2018	100
D	Digestate	23/04/2018	361 (185 min.)
	Ammonium sulphate	22/06/2018	100

## NO<sub>3</sub><sup>-</sup> a diverse profondità

Unfertilized = 0 N \* anno

Synthetic Fert.: 285 kg/Ha N (urea) \* anno

Recovered Fertil. = 475 kg/ha \* anno

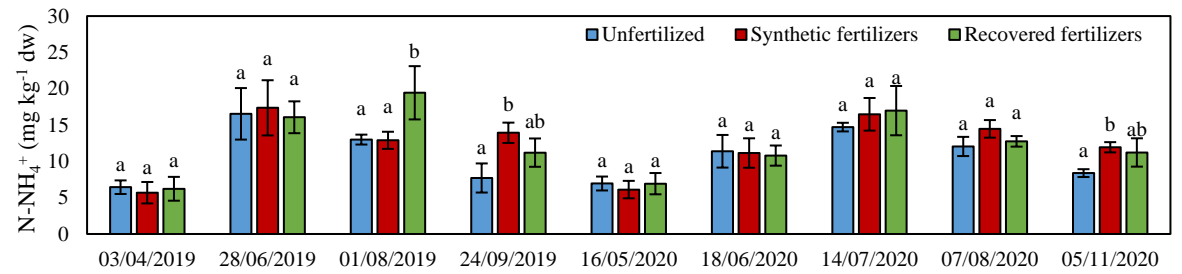


## NH<sub>4</sub><sup>+</sup> a diverse profondità

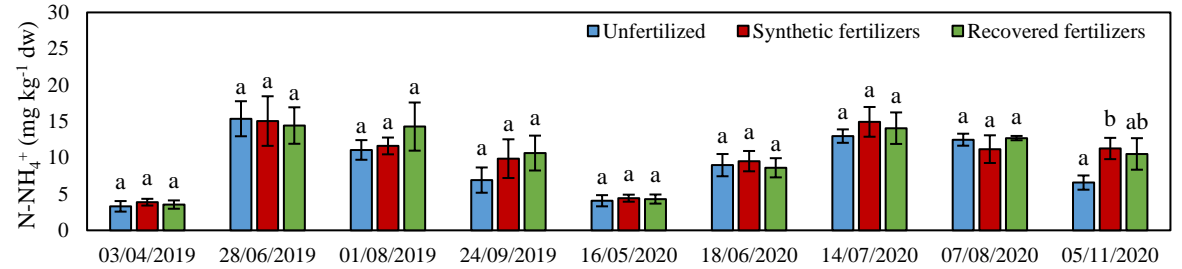
Unfertilized = 0 N \* anno

Synthetic Fert.: 285 kg/Ha N (urea) \* anno

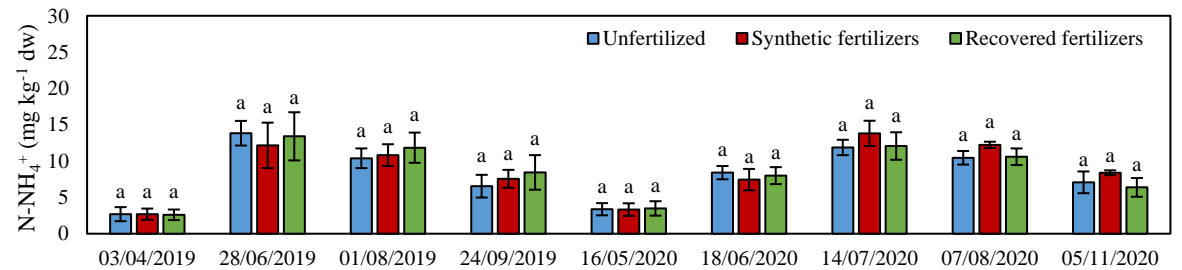
Recovered Fertil. = 475 kg/ha \* anno



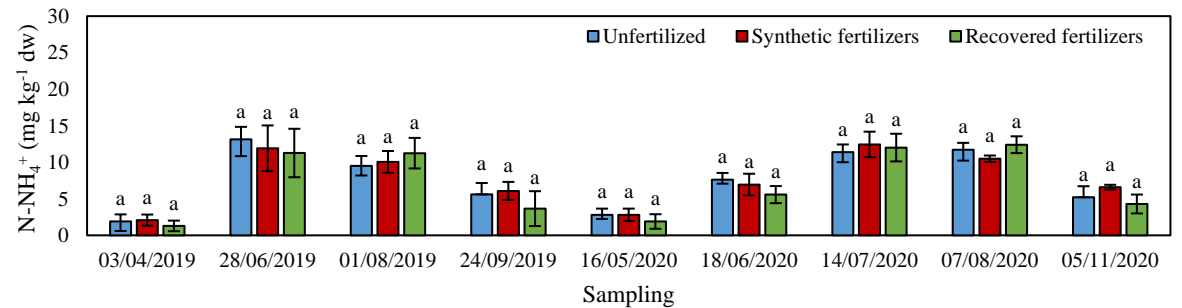
b



c



d



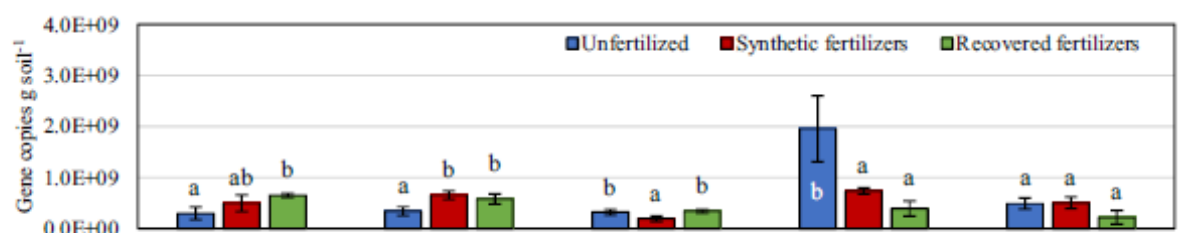
## Batteri nitro-denitro

Unfertilized = 0 N \* anno

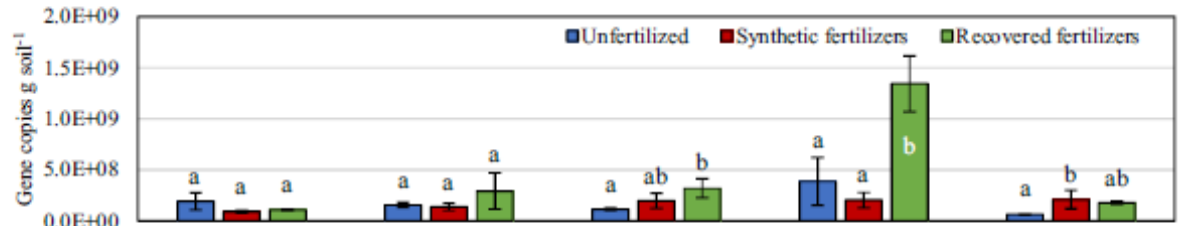
Synthetic Fert.: 285 kg/Ha N (urea) \* anno

Recovered Fertil. = 475 kg/ha \* anno

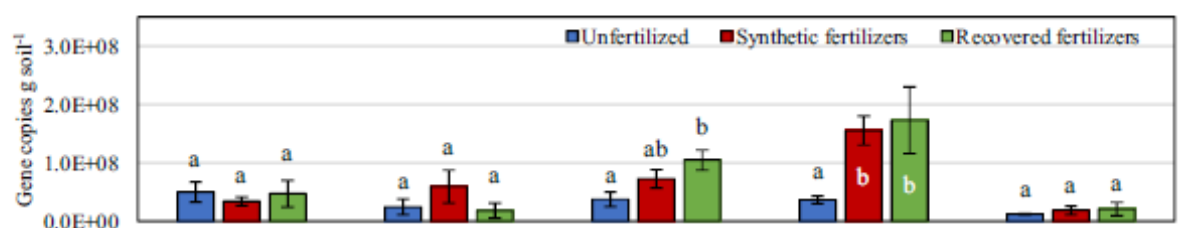
*nifH*



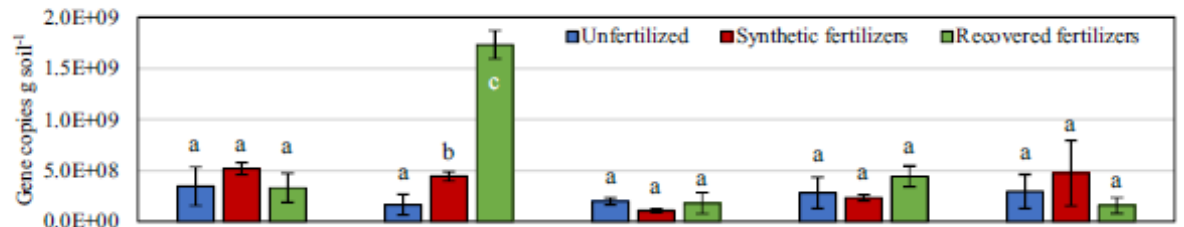
*amoA*  
*archaea*



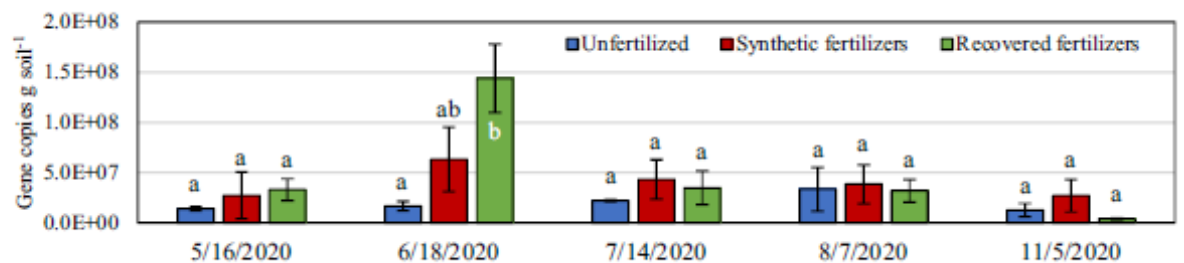
*amoA*  
*eub*



*nirK*

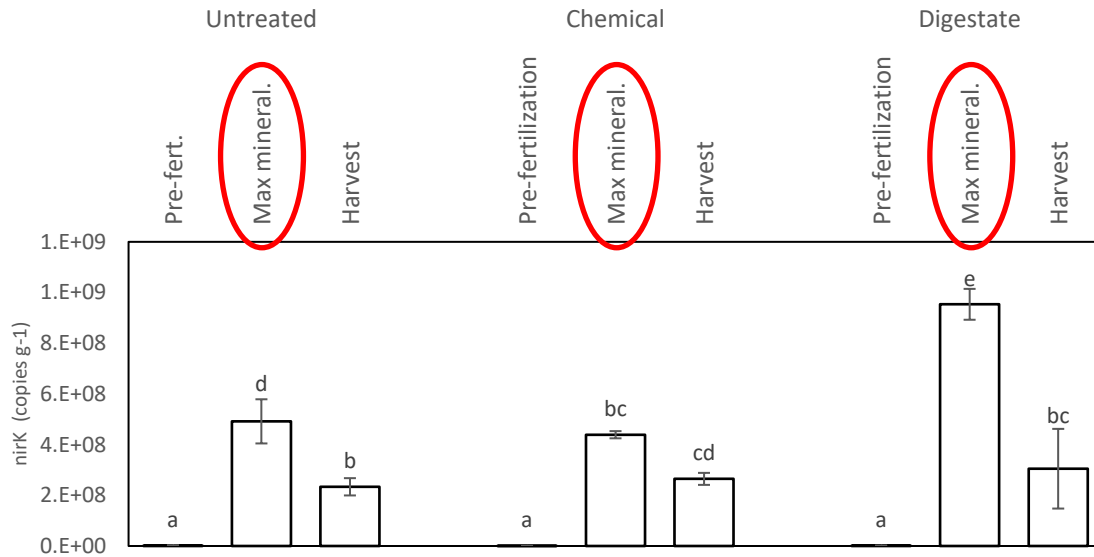


*nosZ*





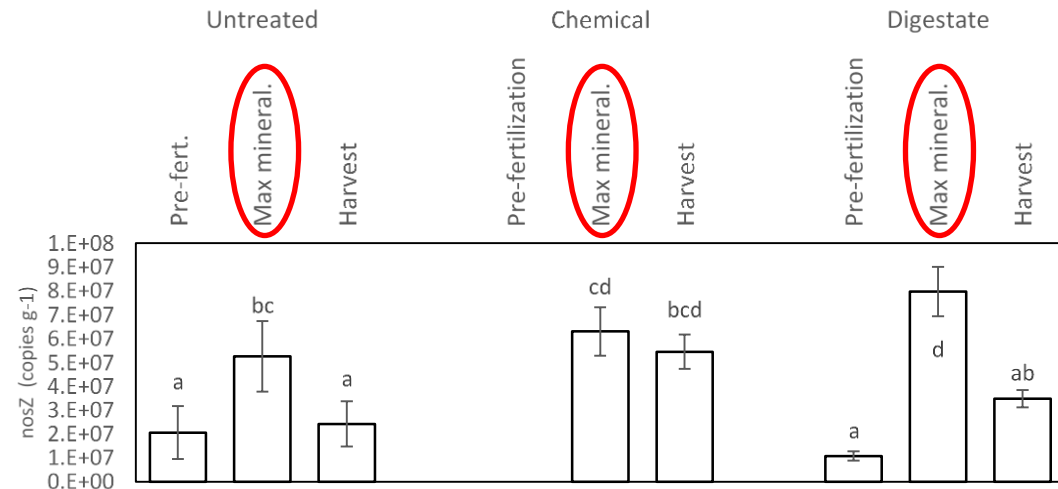
### nirK 0-25 cm



Denitrificanti (NO<sub>3</sub><sup>-</sup> to N<sub>2</sub>O)

Denitrificanti (N<sub>2</sub>O<sup>-</sup> to N<sub>2</sub>)

### nosZ 0-25 cm



The graphs show the means (n = 3) of the gene copies per gram of soil found in the surface layer (0-25 cm) for each of the genes analysed. The bars show the standard deviation. Letters are referred to One-way ANOVA analysis (Gabriel post-test, p<0.05).

Rizzi et al., 2020 (riservato)

## Effetto sulle emission di N<sub>2</sub>O

**Table 4**

Cumulated emissions of N<sub>2</sub>O, CO<sub>2</sub> and CH<sub>4</sub> measured from the experimental plots during the crop season 2020 and the following months (from 28/05/2020 to 17/03/2021).

Fertilizer	Total nitrogen dosed (kgN ha <sup>-1</sup> )	Total N <sub>2</sub> O emitted (kgN ha <sup>-1</sup> )	Total CO <sub>2</sub> emitted (kgC ha <sup>-1</sup> )	Total CH <sub>4</sub> emitted (kgC ha <sup>-1</sup> )
Unfertilized	0	1.71 ± 1.1 <sup>a</sup> (a) <sup>b</sup>	5698 ± 935(a)	0.066 ± 0.06(a)
Synthetic fertilizer	285	10.3 ± 6.8(b)	6144 ± 1491(a)	0.053 ± 0.04(a)
Recovered fertilizer	461	7.59 ± 3.2(ab)	6216 ± 1160(a)	0.036 ± 0.03(a)

<sup>a</sup> Mean ± SD, *n* = 6.

<sup>b</sup> letters are referred to One-way ANOVA comparing values in each column (*p* < 0.05; *n* = 6; Tukey post-test).

Fertilizzanti minerali emettono più N<sub>2</sub>O del digestato nonostante dosiamo metà dell'azoto:

1. N org stabile
2. Presenza di sostanza organica facilita produzione di N<sub>2</sub>

## Efficienza dell'azoto

**Table 5**  
Fertilizer use efficiency (FUE) and N fertilizer replacement value (NFRV) for the maize crop fertilized with SF and RF in the year 2020.

	Unfertilized	Synthetic fertilizer	Recovered fertilizer	
N uptake (kgN ha <sup>-1</sup> dw <sup>a</sup> )	175 ± 19	267 ± 13	256 ± 31	
N tot applied (kgN ha <sup>-1</sup> )	0	285	460 (Ntot) <sup>b</sup>	290 (N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> ) <sup>c</sup>
FUE (%)	–	93.6 ± 4.4 (b) <sup>d</sup>	55.5 ± 6.6 (a)	85.3 ± 10 (b)
NFRV (%)	–	–	54.5	83.7

<sup>a</sup> dw: dry weight.

<sup>b</sup> N applied considering the N tot contained in the digestate dosed.

<sup>c</sup> N applied considering only the N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> contained in the digestate dosed.

<sup>d</sup> Letters are referred to One-way ANOVA ( $n = 6, p < 0.05$ , Tukey post-test).

Riferito all'N totale

Riferito all'N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>

$$\text{FUE (\%)} = \frac{\text{N uptake}_{\text{fert}}}{\text{N applied}} \times 100$$

$$\text{NFRV (\%)} = \left[ \frac{\frac{(\text{N uptake recovered fertilizers} - \text{N uptake unfertilized})}{\text{total N applied recovered fertilizers}}}{\frac{(\text{N uptake synthetic fertilizers} - \text{N uptake unfertilized})}{\text{total N applied synthetic fertilizers}}} \right] \times 100$$



# Dove è finito l'N organico ????

Parameter	Unit	Infeed <sup>a</sup> (this work)	Digestate <sup>b</sup> (this work)	Lombardy Law N. 6665/2019 – Legal limits <sup>c</sup>	Agricultural digestate <sup>d</sup>	Energy Crop digestate <sup>e</sup>	Green Compost 1 <sup>e</sup>	Green Compost 2 <sup>e</sup>
OD <sub>20</sub> BMP <sup>h</sup>	mg O <sub>2</sub> g <sup>-1</sup> DM L <sub>biogas</sub> kg <sup>-1</sup> DM	n.d. n.d.	22.6 ± 6.1 57 ± 23			66.8 ± 1 229 ± 31	15.6 ± 0.3 144 ± 3.8	10.3 ± 1.1 201 ± 20

Elevata stabilità biologica  
della sostanza organica

**Table 2**

Main chemical parameters (mean  $\pm$  SD;  $n = 3$ ) of soil before the pre-sown fertilization on March 2018 and after the end of the third crop season on January 2021.

Parameter	Unit	March 2018	January 2021		
			Unfertilized	Synthetic fertilizer	Recovered fertilizer
Sand	%		47 $\pm$ 2.8	49 $\pm$ 3.7	46 $\pm$ 4.4
Silt	%		41 $\pm$ 0.2	39 $\pm$ 1.5	43 $\pm$ 1.4
Clay	%		12 $\pm$ 2	12 $\pm$ 1.1	12 $\pm$ 2.6
pH	pH unit	7 $\pm$ 0.7(a) <sup>a</sup>	7.14 $\pm$ 0.2 (a)	7.06 $\pm$ 0.1 (a)	7.05 $\pm$ 0.2 (a)
CEC	C (mol kg <sup>-1</sup> )	24.2 $\pm$ 2.1 (ab)	23.8 $\pm$ 0.4 (a)	26.8 $\pm$ 0.8 (b)	22.3 $\pm$ 0.9 (a)
Total organic carbon (TOC)	g kg <sup>-1</sup> dw <sup>b</sup>	10.3 $\pm$ 0.6 (a)	11.9 $\pm$ 0.2 (ab)	11.3 $\pm$ 0.4 (a)	12.3 $\pm$ 0.4 (b)
Total nitrogen	g kg <sup>-1</sup> dw	1.27 $\pm$ 0.1 (a)	1.3 $\pm$ 0 (a)	1.41 $\pm$ 0 (b)	1.42 $\pm$ 0.9 (b)
Ratio C/N		8.13 $\pm$ 0.9 (ab)	9.22 $\pm$ 0 (b)	8.01 $\pm$ 0.1 (a)	8.65 $\pm$ 0.4 (ab)
P <sub>tot</sub>	mg kg <sup>-1</sup> dw	575 $\pm$ 11 (a)	521 $\pm$ 26 (a)	581 $\pm$ 32 (a)	550 $\pm$ 15 (a)
P <sub>available</sub>	mg kg <sup>-1</sup> dw	43.6 $\pm$ 2.6 (a)	46.4 $\pm$ 0 (a)	60.1 $\pm$ 16 (a)	58.9 $\pm$ 16 (a)

Incremento del Carbonio organico



## Considerazioni:

**DIGESTATO** = 461 kg N/Ha, i.e. **azoto efficiente** = 285 kg/Ha N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>

(assumendo efficienza = 1 per azoto ammoniacale e efficienza = zero per azoto organico)

**(biogas potenziale (60d) < 57 ± 23 L<sub>biogas</sub> kg<sup>-1</sup> SS).**

**UREA** = 285 kg/Ha N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>

....N organico non contribuisce perché stabile !!!!



Sulla base di quanto discusso possiamo dire che la efficienza dell'azoto di una biomassa dipende da:

1. Contenuto di azoto minerale (a cui associare una efficienza =1).
2. Rapporto C/N (valido solo per matrici che contengono C facilmente degradabile).
3. Grado di stabilità biologica, i.e. biodegradabilità del C (e dell'N).



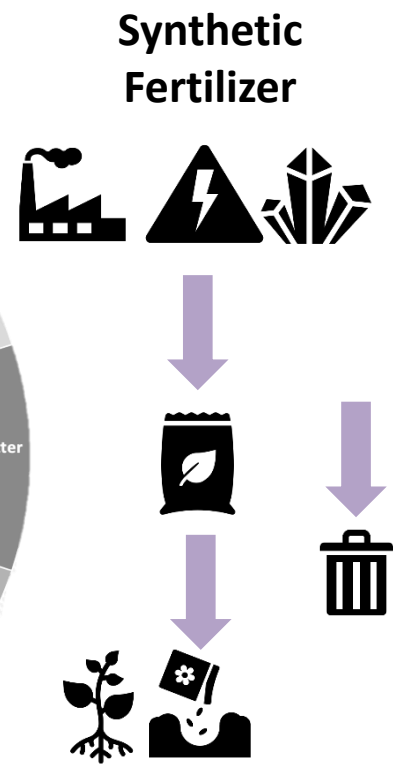
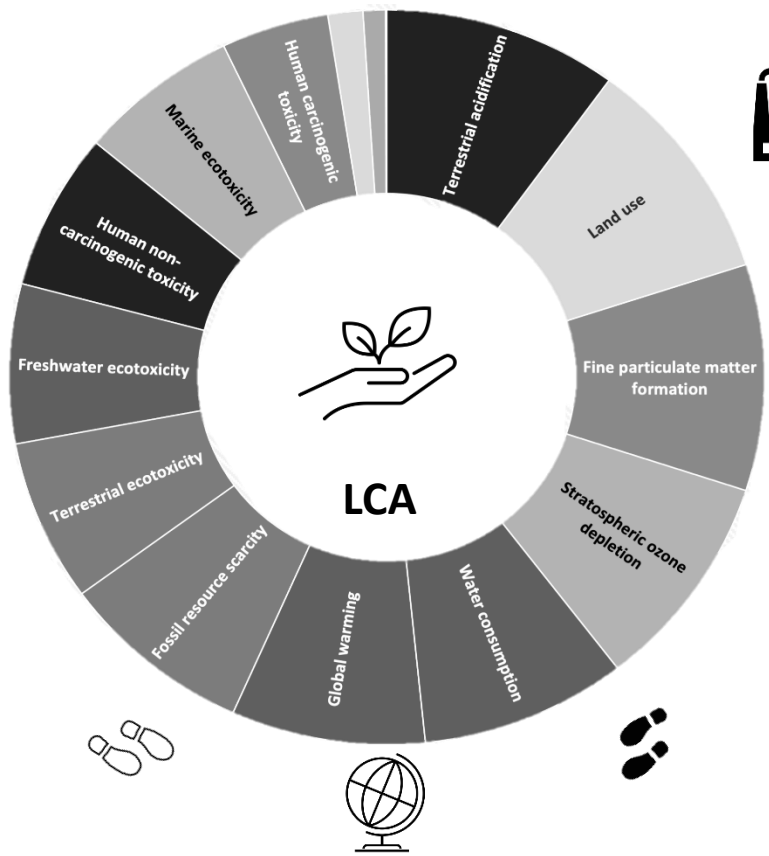
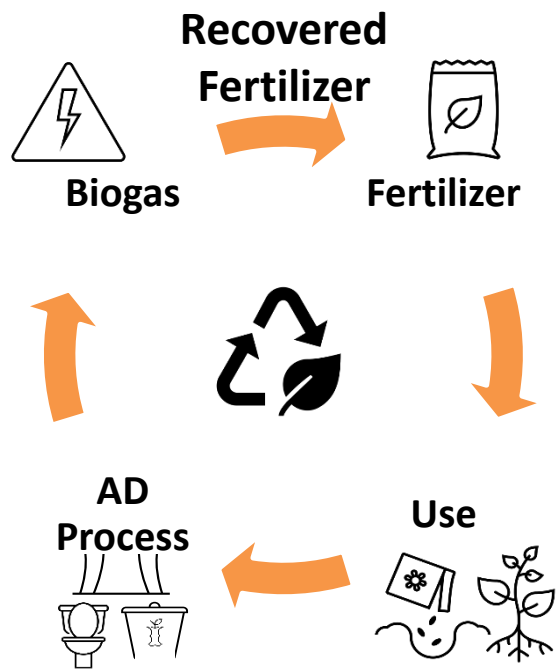
- L'efficienza dell'azoto dipende soprattutto (se non in modo completo) dalla presenza della quota parte di N minerale, essendo trascurabile la quota parte organica.
- Per i digestati, che hanno subito un processo biologico completo e corretto, potremmo assegnare una efficienza pari al valore del contenuto di N minerale, parametro questo facilmente quantificabile, trascurando la componente organica (che assume il significato di ammendante).
- Per quanto riportato nel punto 2, la introduzione di parametri di misura della stabilità biologica diventa importante e obbligatorio per assicurare che quanto indicato corrisponde alla realtà. Il regolamento Europeo, introducendo tali parametri nella qualificazione di compost e digestati va nella giusta direzione: rimane da meglio definire il valore di stabilità biologica.

# Direttiva nitrati e Tutela dell'ambiente

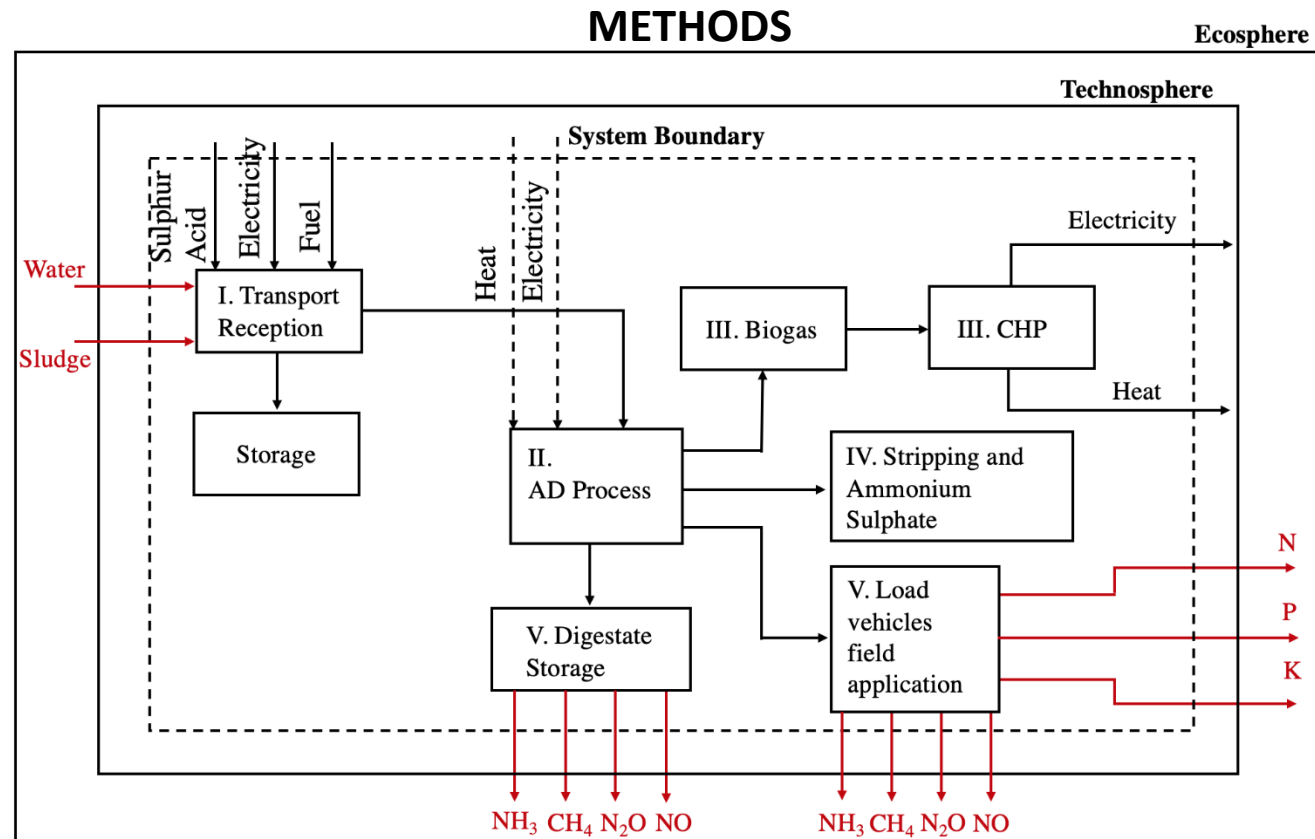


Refluo digerito ad elevata stabilità biologica (e.g. Biogas residuo < 100 NL/kg SV a 60 d)

- ZV = utilizzabile a bilancio di azoto con efficienze pari al contenuto di azoto minerale.
- Iniezione e/o interrimento immediato.
- Presemina e/o copertura.
- Sistema GPS.
- Vasche coperte e di volume utile per il contenimento del refluo al di fuori dei periodi di utilizzo agronomico reale.



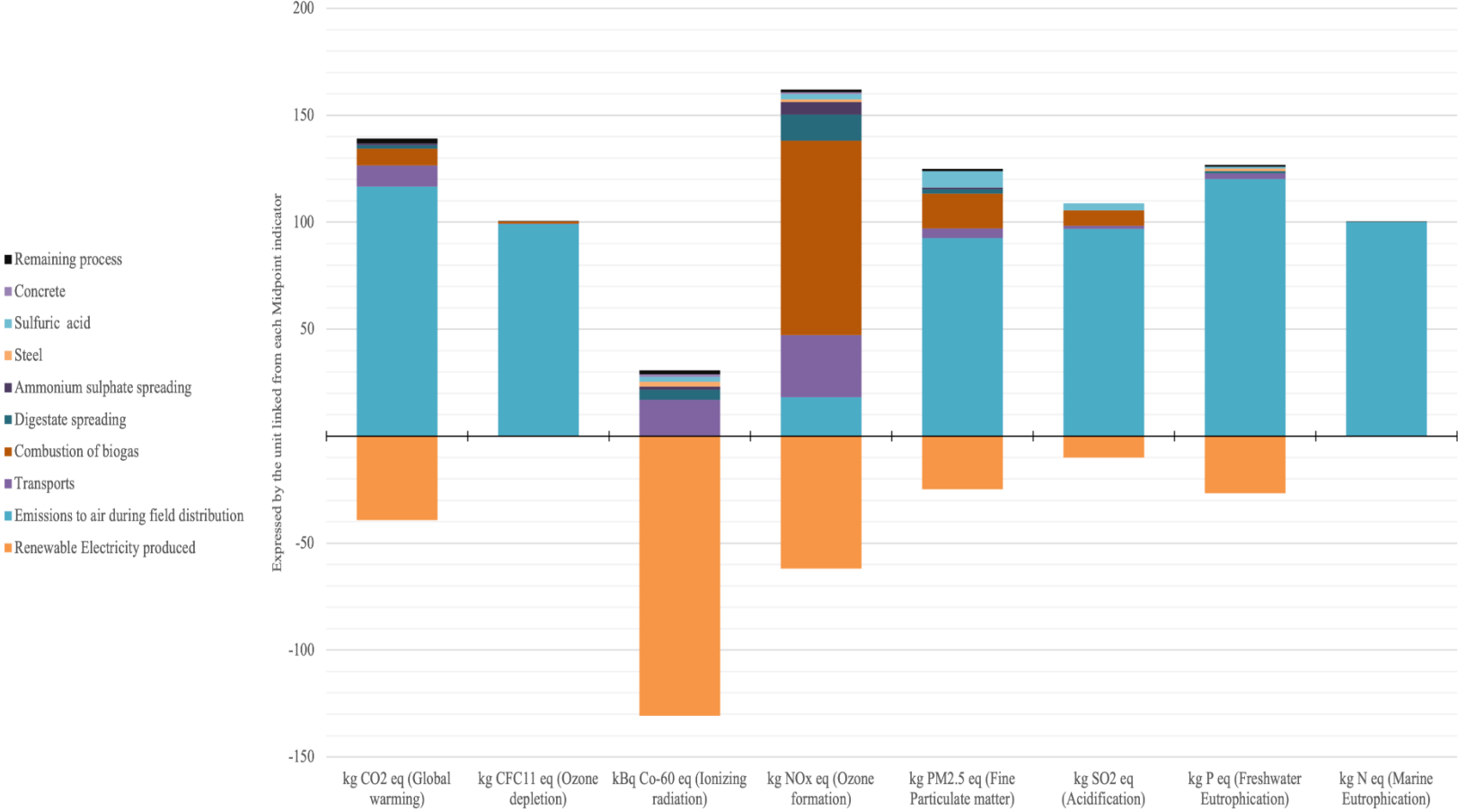
# LCA approach



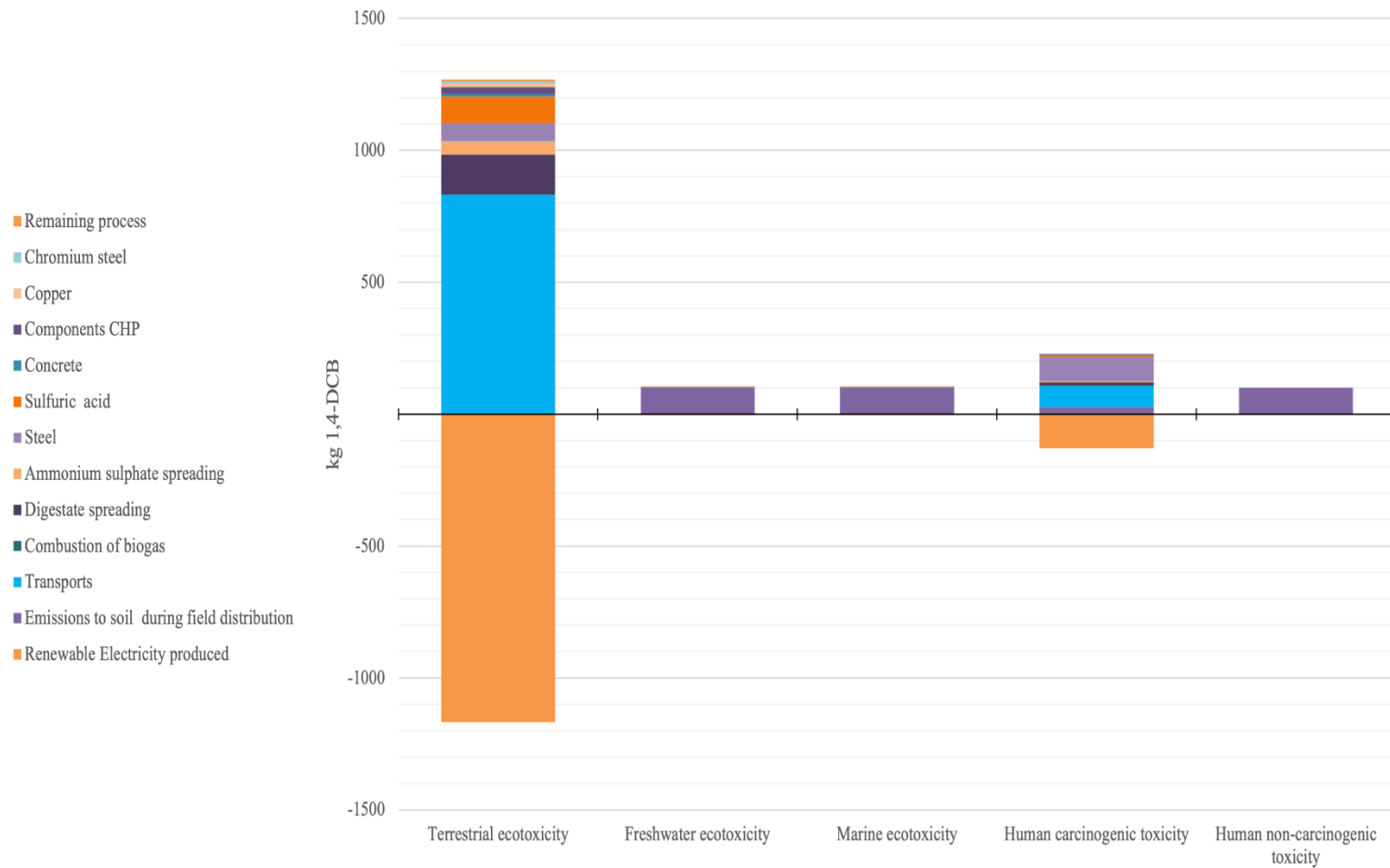
System boundaries and main processes for the recovered Fertilizers (RF) (b).



### A. Ecosystem



## B. Toxicity



### C. Resources

