



Valutazione del potenziale fertilizzante dei rifiuti organici riciclati per la nutrizione sostenibile delle leguminose

**Ruolo di fosforo e azoto nell'azoto
fissazione delle leguminose**

Callovi Daniele, Claudio Ciavatta, Marco Grigatti – Università di Bologna

Ricerca finanziata dal Ministero delle Imprese e del Made in Italy (Mimit)

Progetto: *Filiere Ingredientistiche Innovative e Processi Ottimizzati al Servizio di un Sistema Alimentare Sicuro e Sostenibile.*

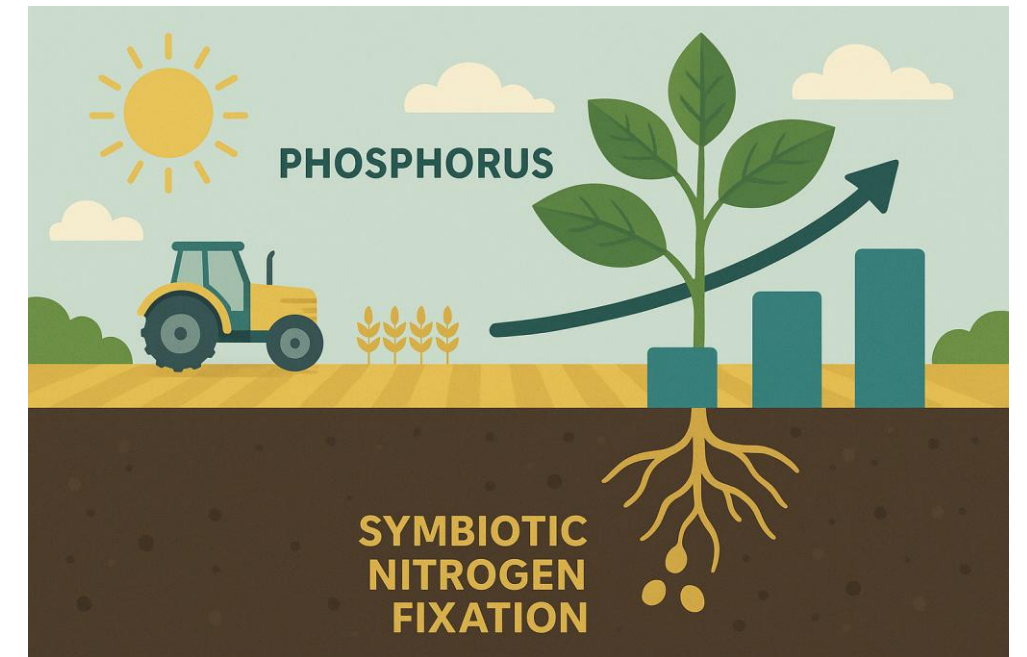
Contesto globale



- **Crescente domanda di proteine vegetali** più sostenibili e accessibili
- Importante aumento della **produzione di leguminose** a livello globale [1]



- Promozione da parte dell'**Unione Europea** dell'utilizzo delle leguminose come fonte sostenibile di proteine tramite la strategia **Farm to Fork**



- Ruolo **cruciale del fosforo** nella fissazione dell'azoto
- **Inibizione della formazione dei noduli** in presenza di azoto.

Problema attuale

Utilizzo di fertilizzanti inorganici

P

- Risorsa **non rinnovabile**
- Alti costi di estrazione [2]
- **Eutrofizzazione** delle acque

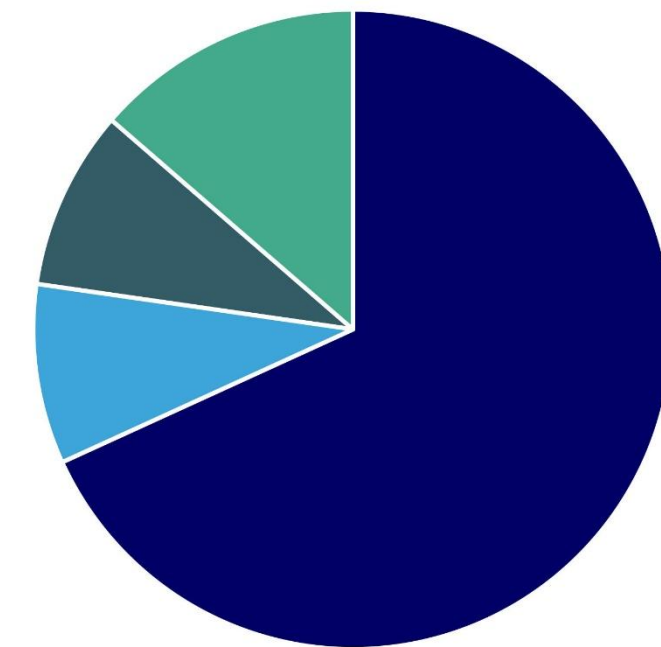


Giacimenti di rocce fosfatiche [3]

N

- Fissazione **energeticamente dispendiosa** (Haber-Bosch) [4]
- **Eutrofizzazione** delle acque

Produzione mondiale NH_3



Settore ■ Urea ■ Esplosivi ■ Materiali plastici ■ Fibre

Distribuzione dell'ammoniaca per settore di utilizzo [5]

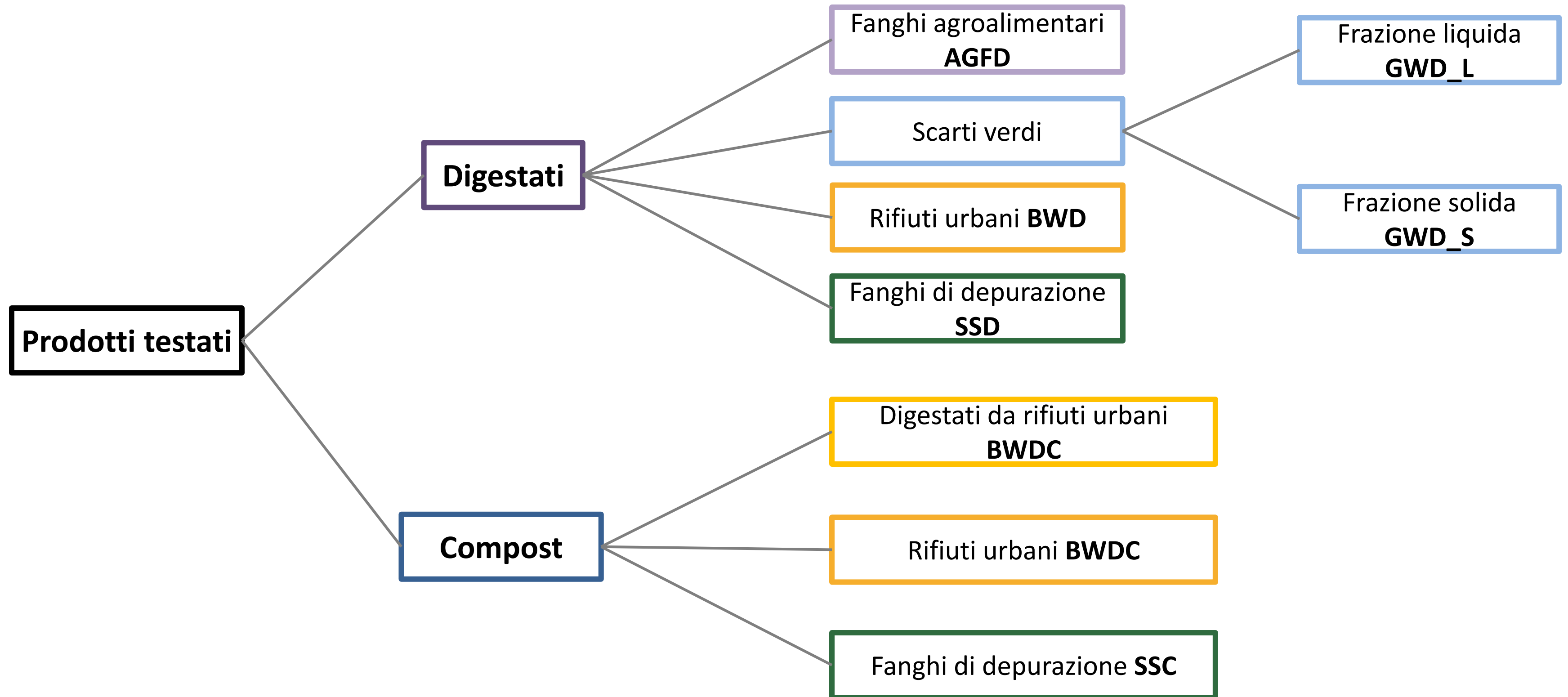
Soluzione proposta

Utilizzo di fertilizzanti organici

- L'elevata richiesta di **P** da parte delle leguminose può essere garantita da **fertilizzanti organici** (digestati, compost) derivanti dal riciclo delle biomasse.
- Il **rilascio graduale** di N nei fertilizzanti organici non inibisce la **formazione dei noduli** e la **simbiosi rizobica** [6].



Caratterizzazione materiali



Caratterizzazione materiali

Fertilizzanti organici

Prodotto	pH	CE	ST	SV	C	N	C:N	P	Ca	Ca:P
		($\mu\text{S cm}^{-1}$)	(g kg^{-1})		(mg g^{-1})			(mg g^{-1})		
GWD_L	7.8	15973	27	551	321	36.7	9	8.1	17	2
GWD_S	8.3	1257	177	837	397	27.6	14	14.9	10	1
AGFD	8.2	1943	191	629	277	42.5	7	20.2	35	2
BWD	8.1	2509	342	540	298	27.2	11	11.0	53	5
SSD	8.2	2480	243	470	251	40.5	6	22.0	44	2
BWDC	8.0	3700	675	400	233	26.7	9	7.0	45	6
BWC	8.8	7500	680	545	312	23.1	14	6.6	76	12
SSC	8.2	2925	680	375	241	27.0	9	8.9	59	7

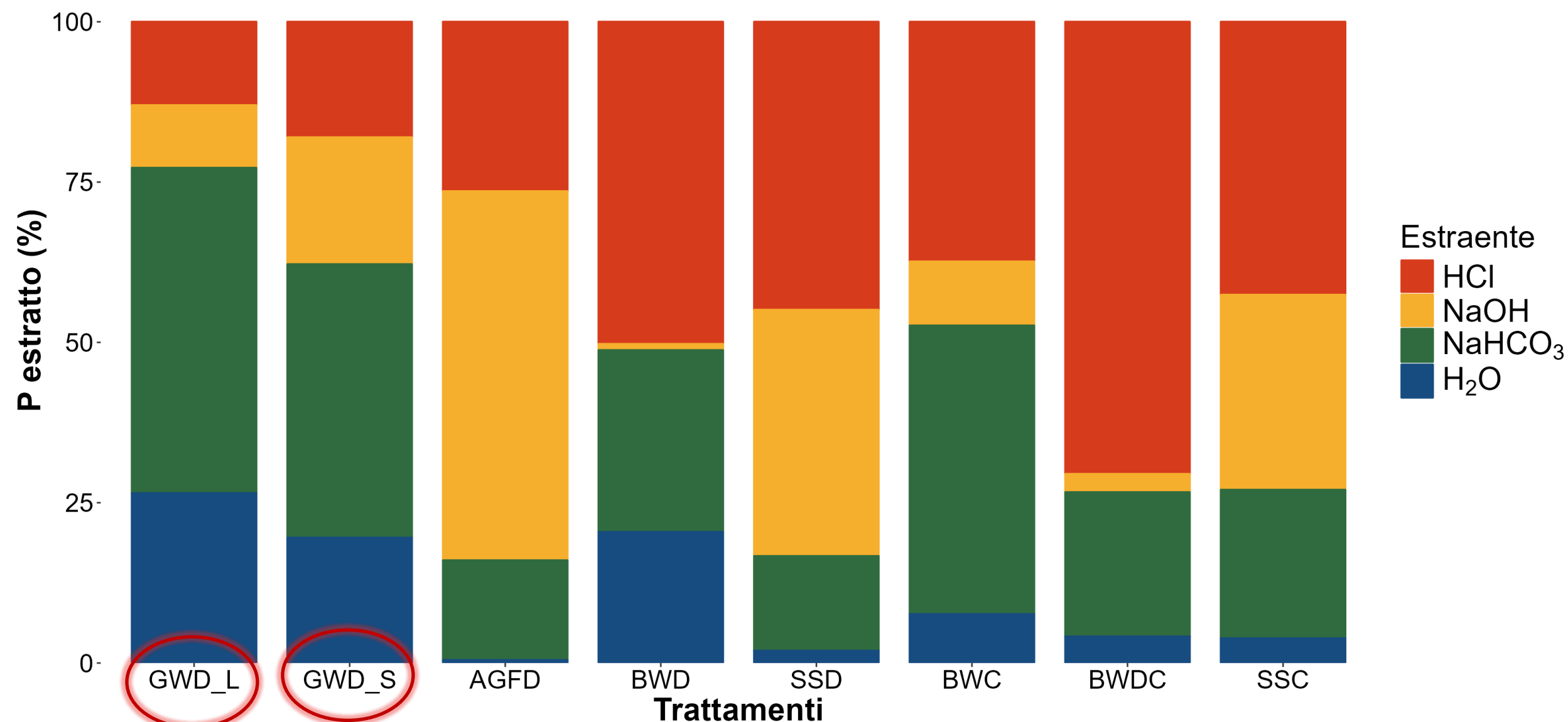
I dati presentati sono la media di due repliche ed espressi su peso secco

Caratterizzazione materiali

Estrazione sequenziale

Utilizzata per andare ad individuare le diverse frazioni di P presenti nei composti organici

Porzione di P (%) rimossa dai vari estraenti



H₂O, NaHCO₃ → P prontamente disponibile

NaOH → P legato a Fe e Al, **disponibile nel medio-lungo periodo**

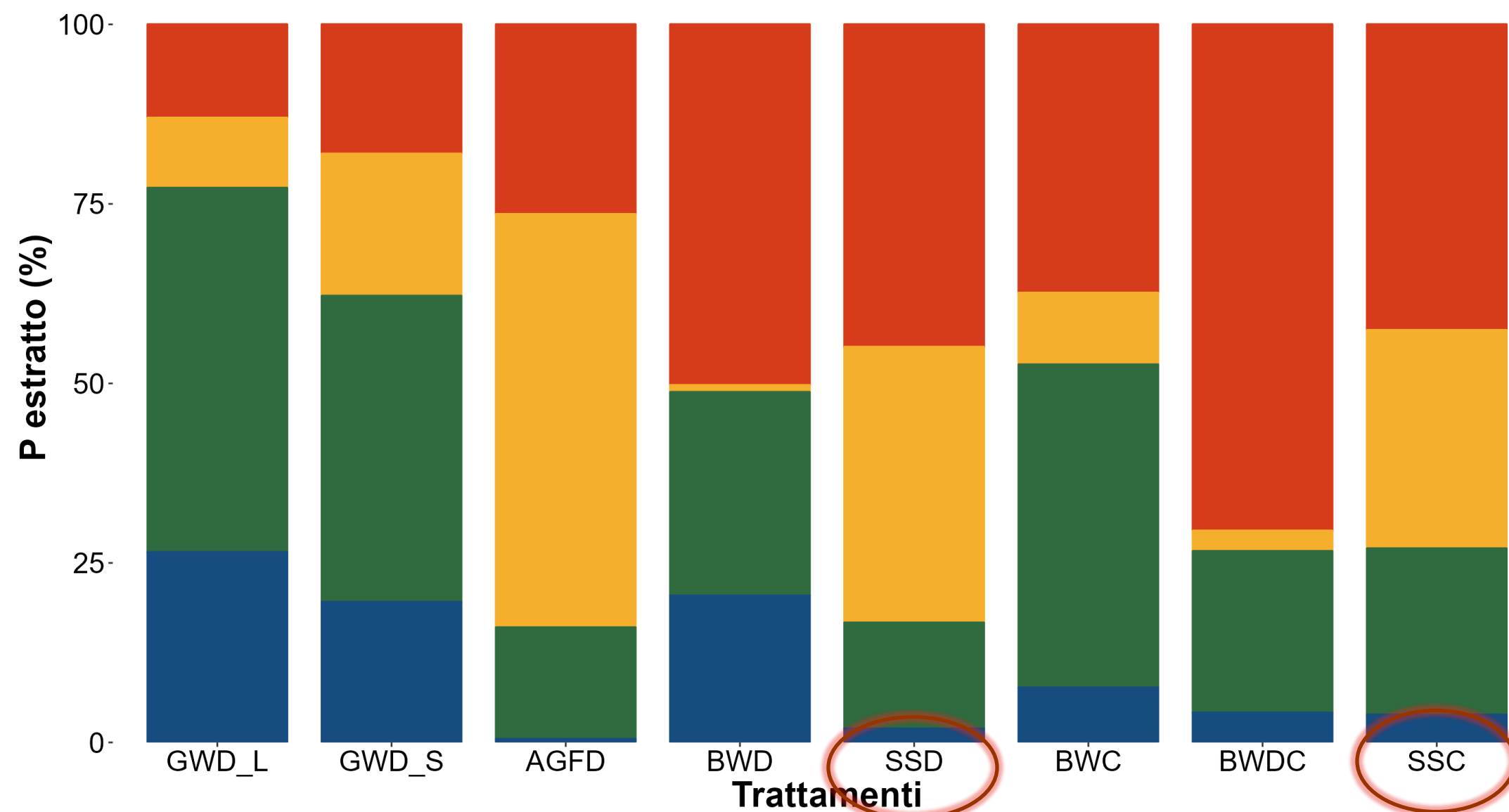
HCl → P legato a Ca, **si considera non disponibile**

Caratterizzazione materiali

Estrazione sequenziale

Utilizzata per andare ad individuare le diverse frazioni di P presenti nei composti organici

Porzione di P (%) rimossa dai vari estraenti



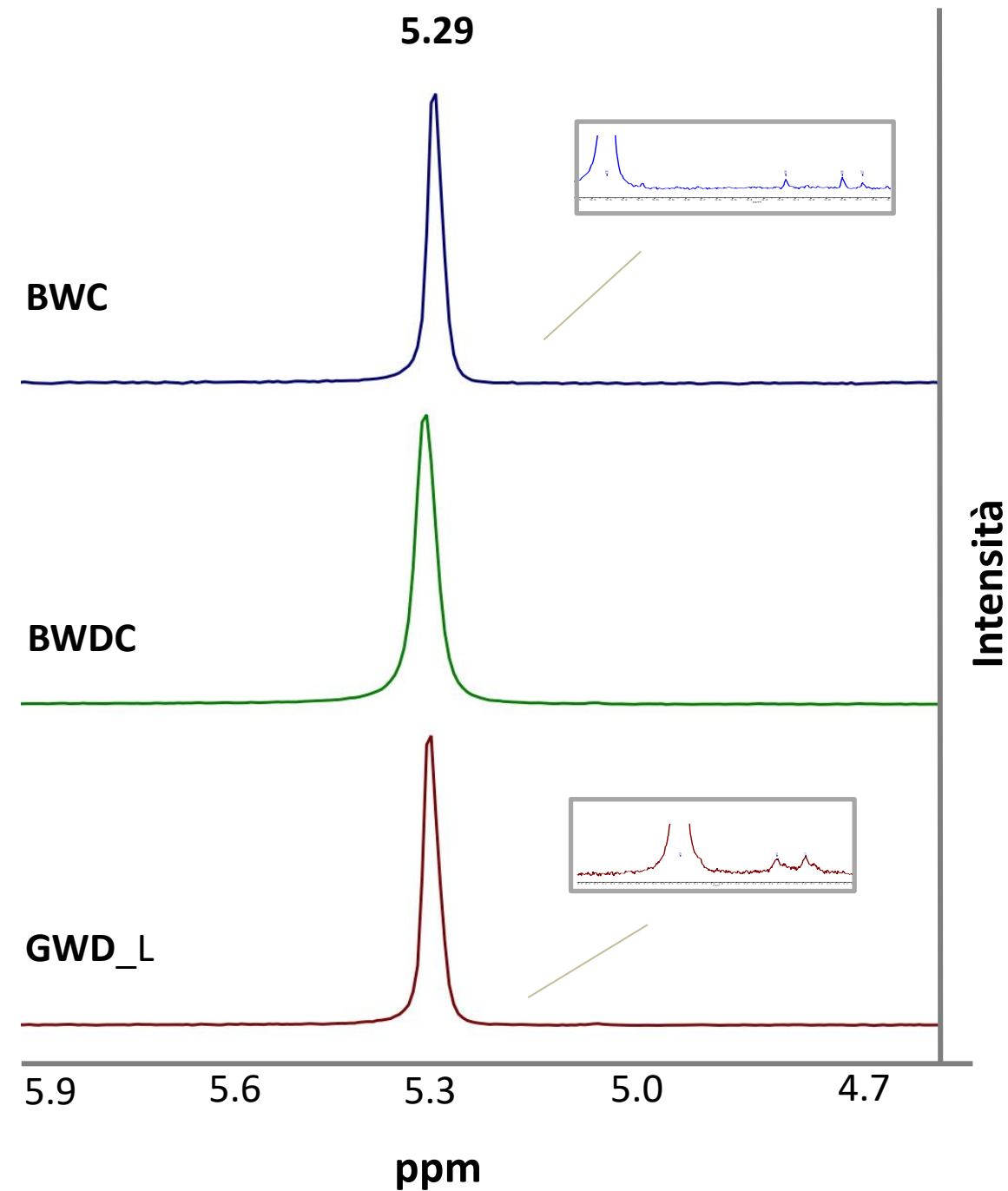
H₂O, NaHCO₃ → P prontamente disponibile

NaOH → P legato a Fe e Al, disponibile nel medio-lungo periodo

HCl → P legato a Ca, si considera non disponibile

Caratterizzazione materiali

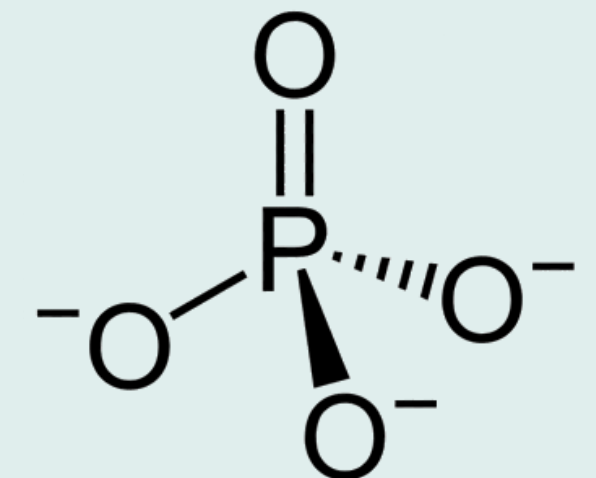
^{31}P -NMR



Mineralizzazione fosforo organico durante i processi di **digestione anaerobica** e **maturazione del compost**.



Forma inorganica
(ortofosfato)



Prove di incubazione in suolo

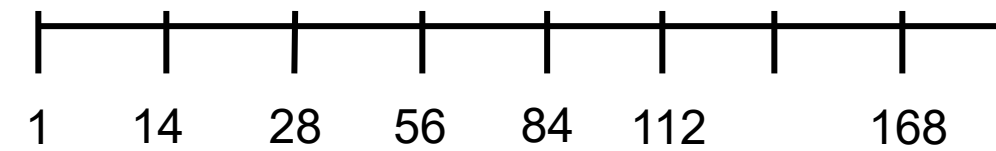
Dinamiche di rilascio di N e P da parte dei prodotti fertilizzanti.

Distribuzione prodotti



PROVA N
30 kg N ha⁻¹

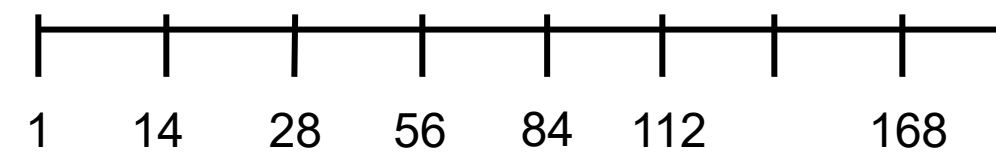
Campionamenti



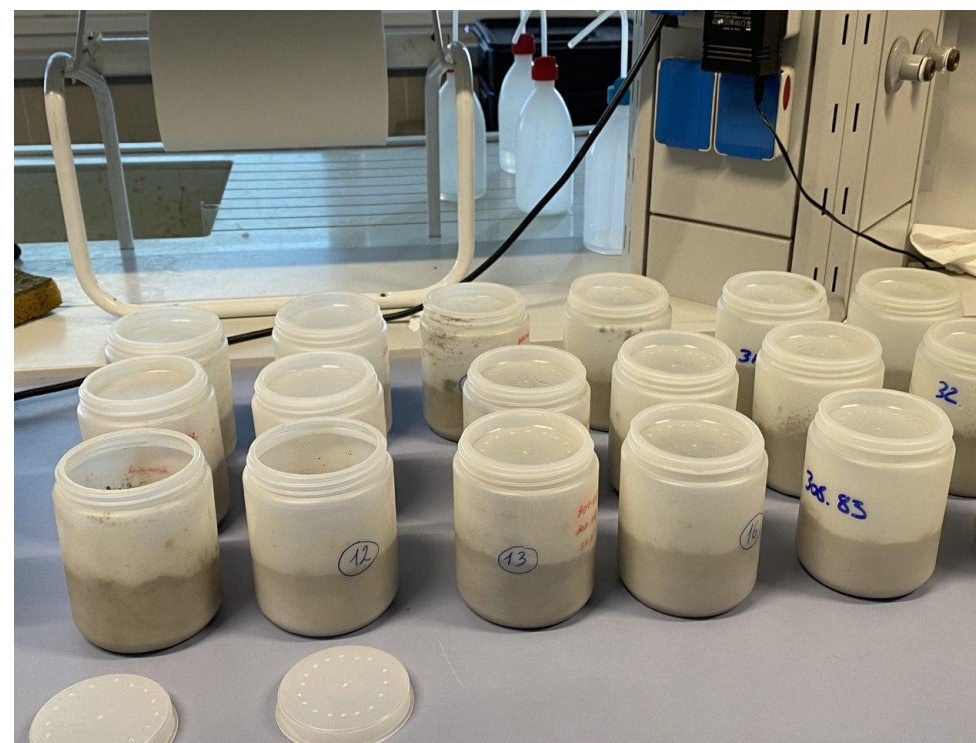
N – min (NO_3^- , NH_4^+)
(ISO 14256-2)

PROVA P
30 mg P kg⁻¹

Campionamenti

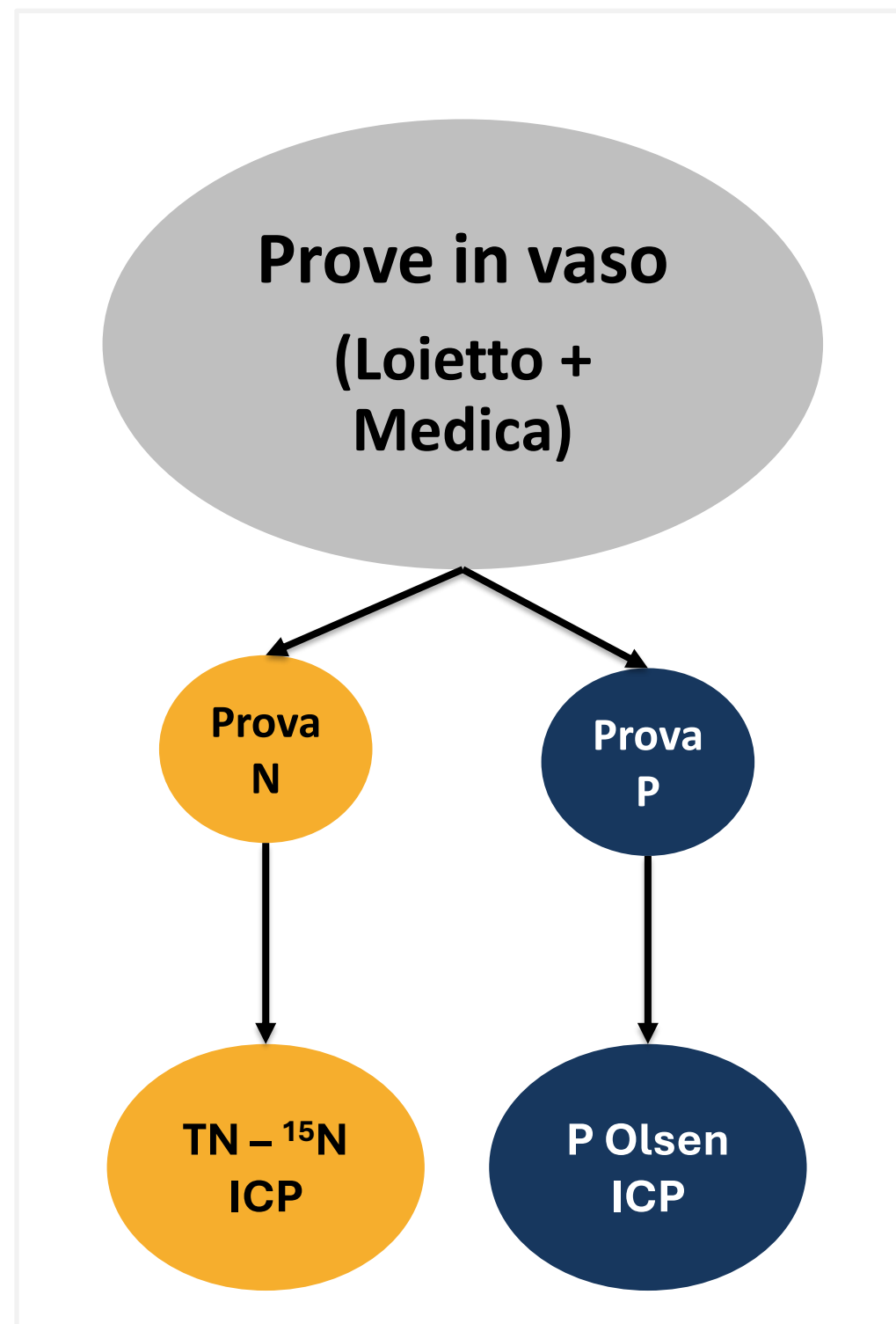


P disponibile – Olsen
(Metodo MB)



Prove di coltivazione in vaso

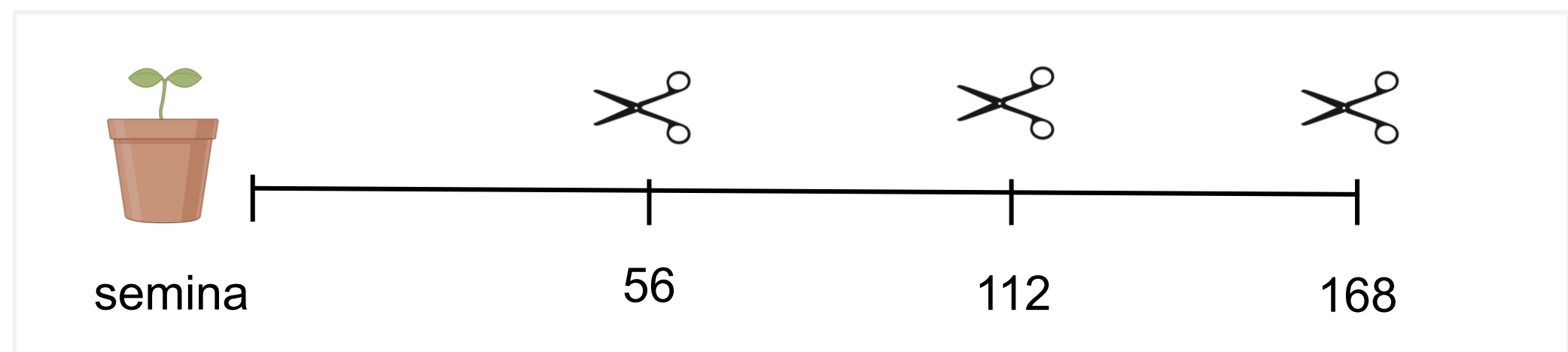
Sono state condotte **due prove in vaso** per valutare l'efficienza di utilizzo dell'**azoto (N)** e del **fosforo (P)** da parte delle piante



Erba medica



Loietto italico

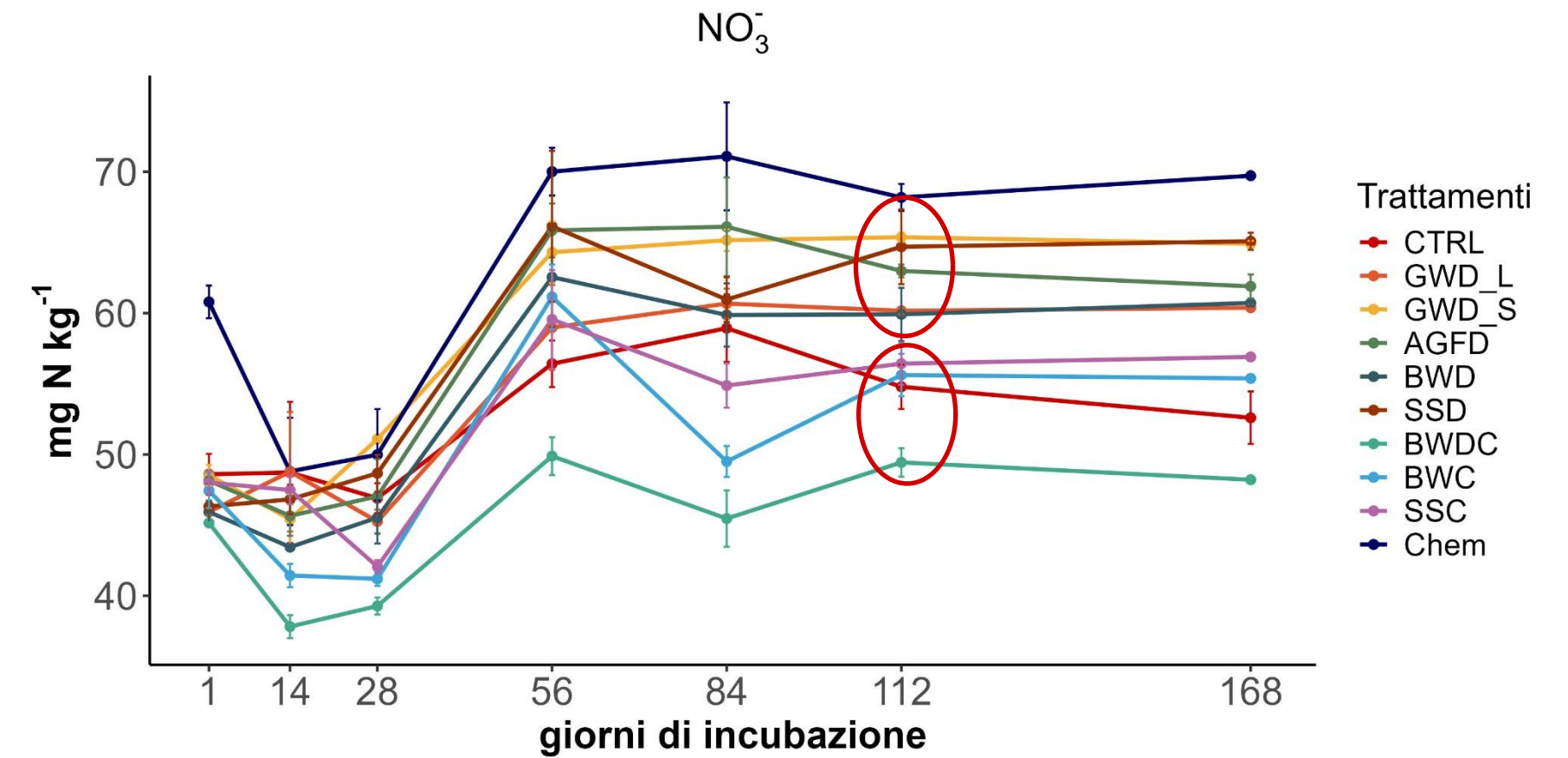
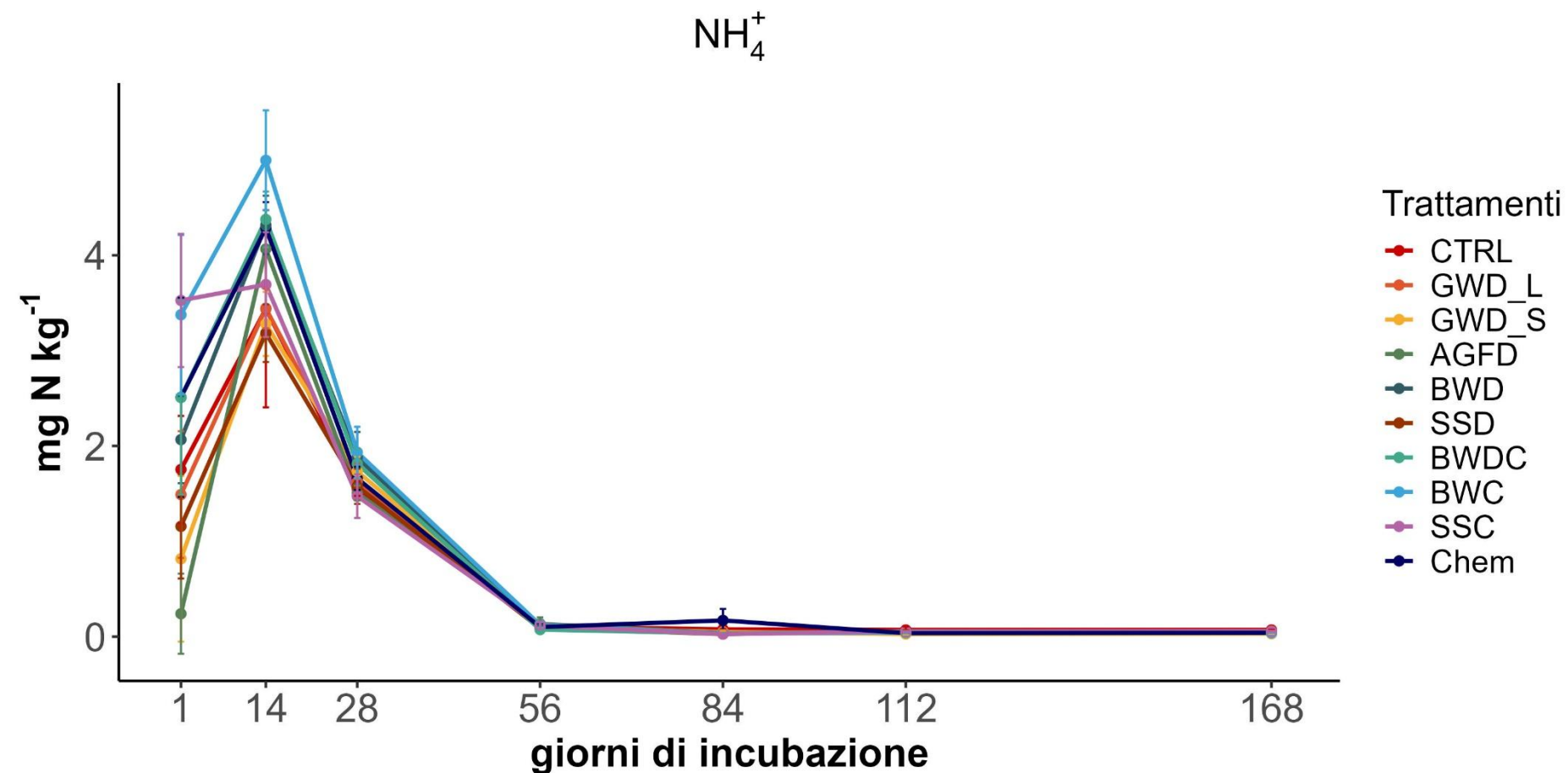


Risultati

N –min nella prova di incubazione in suolo

Ammonio NH_4^+

- I livelli di NH_4^+ scendono molto rapidamente, mostrando una forte nitrificazione.



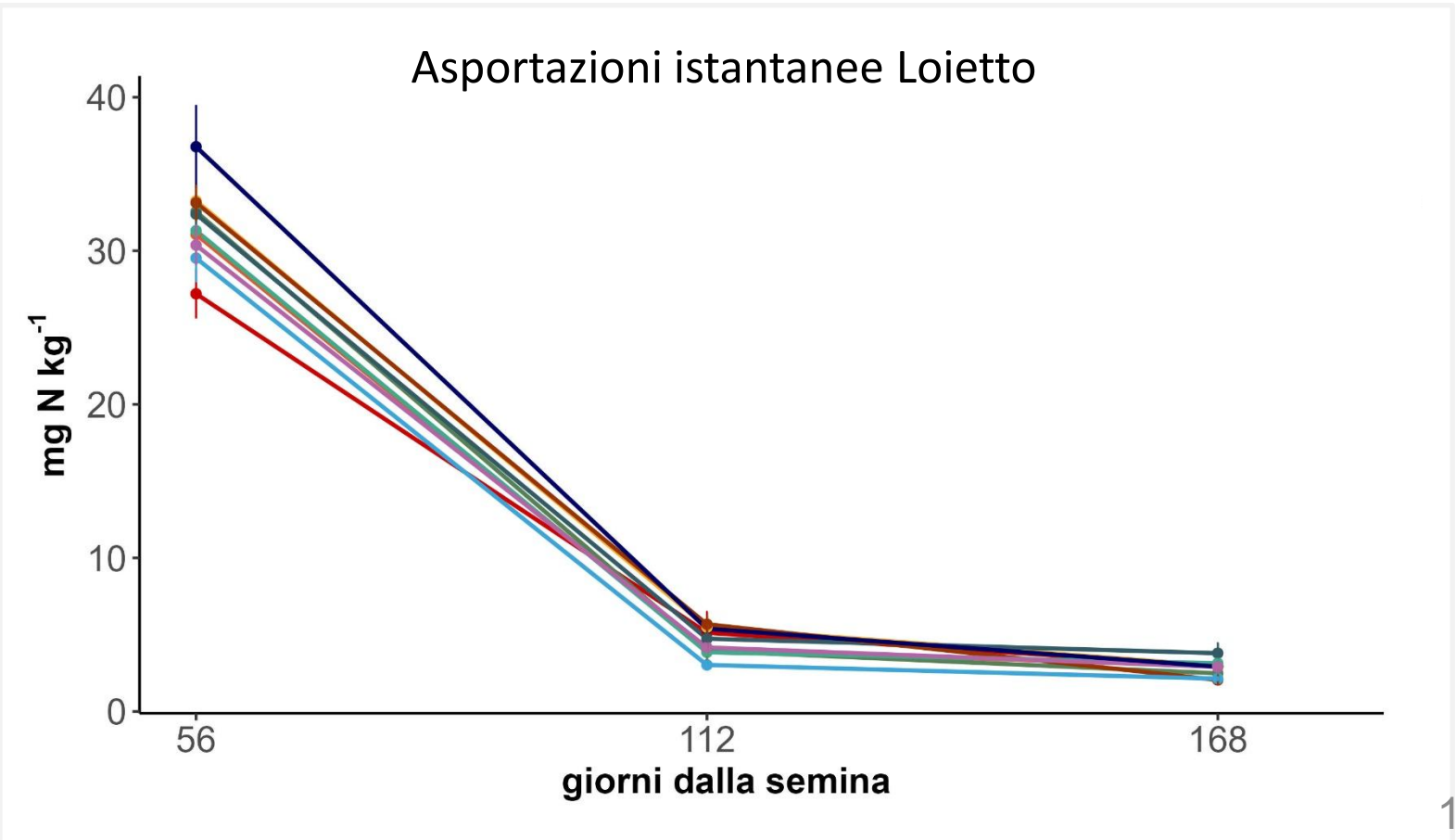
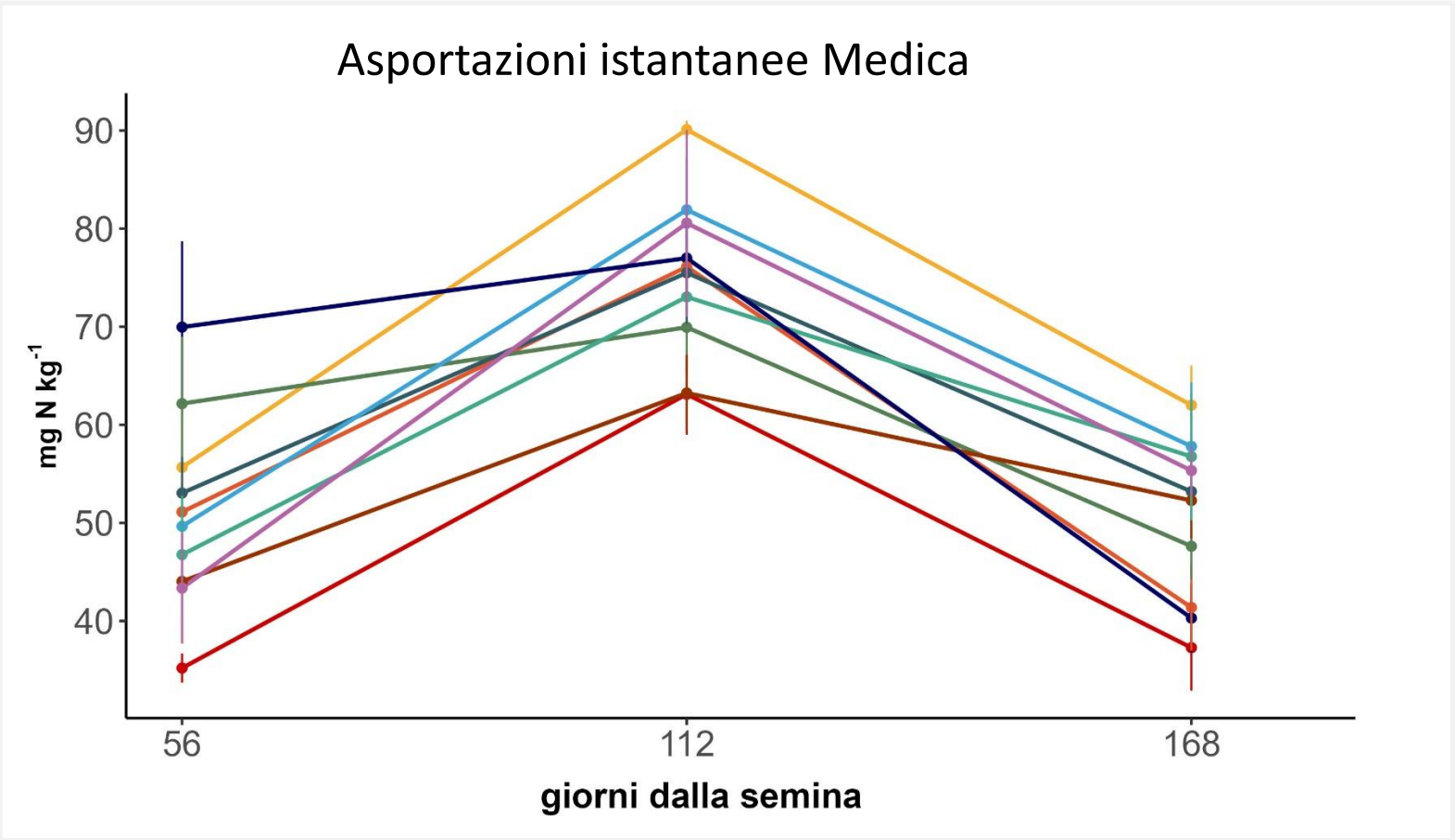
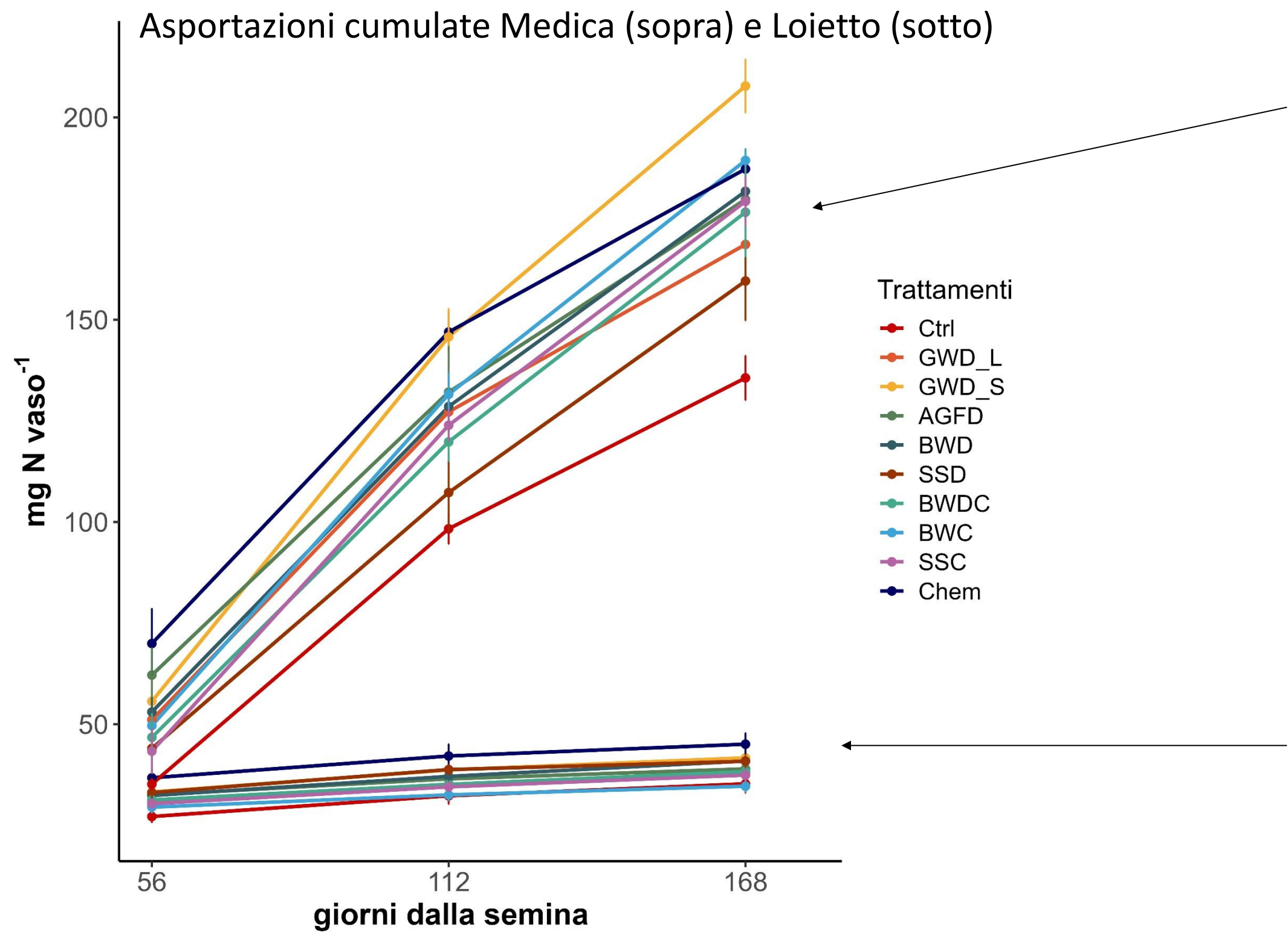
Nitrato NO_3^-

- GWD_S, SSD, BWD** ↑

- SSC, BWC, BWDC** ↓

Risultati

Σ Asportazioni di N nella parte epigea

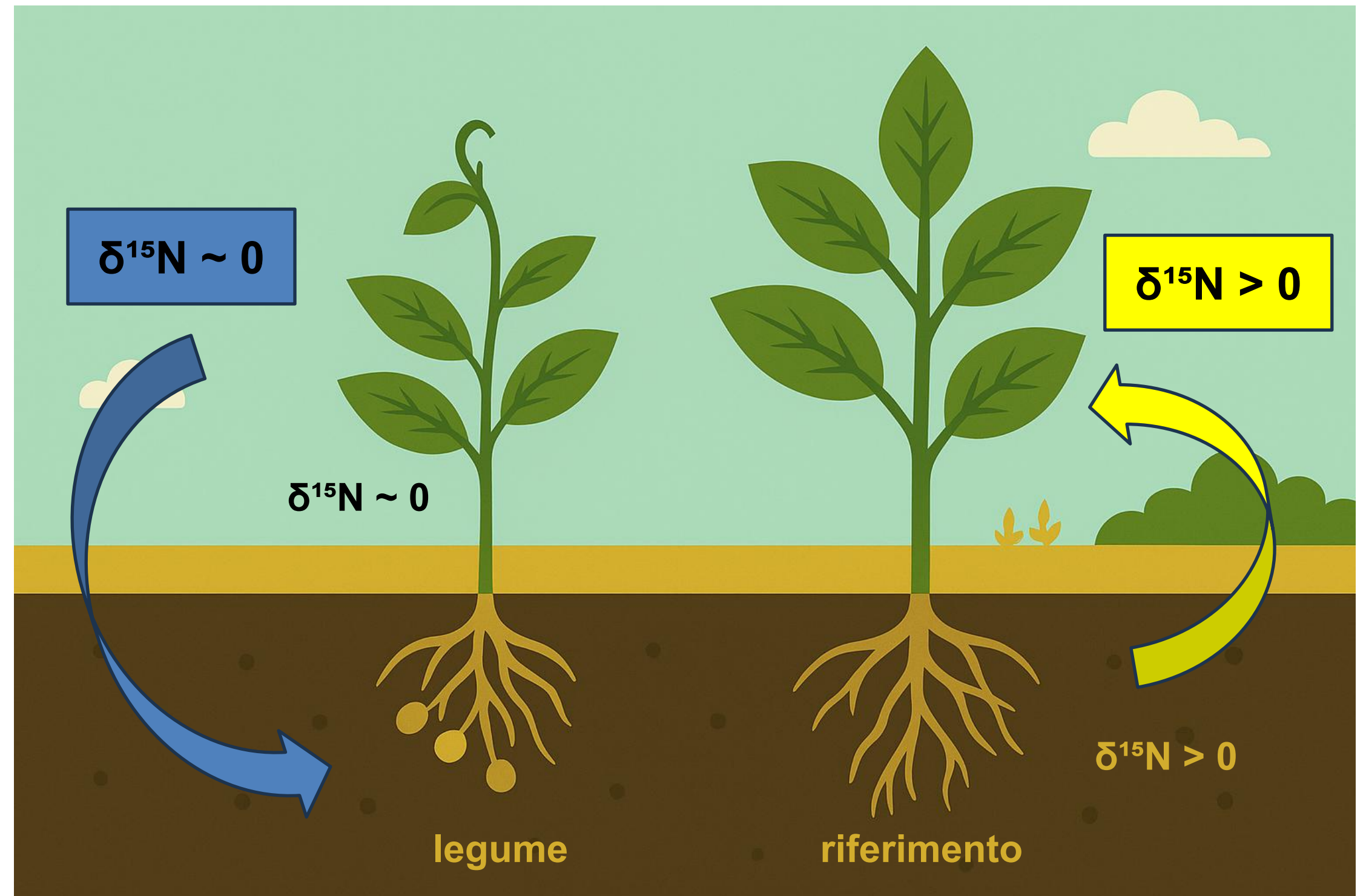


$\delta^{15}\text{N}$ come indicatore dell'origine dell'azoto

Differenze di delta diverse indicano la provenienza del N secondo il **metodo dell'abbondanza naturale del ^{15}N** .

$$\delta^{15}\text{N} (\text{‰}) = \frac{^{15}\text{N}}{^{14}\text{N}}$$

- La leguminosa che fissa N_2 dall'atmosfera mostra $\delta^{15}\text{N}$ vicino a 0‰.
- La specie di riferimento **non** fissatrice riflette invece il $\delta^{15}\text{N}$ dell'azoto disponibile nel suolo.

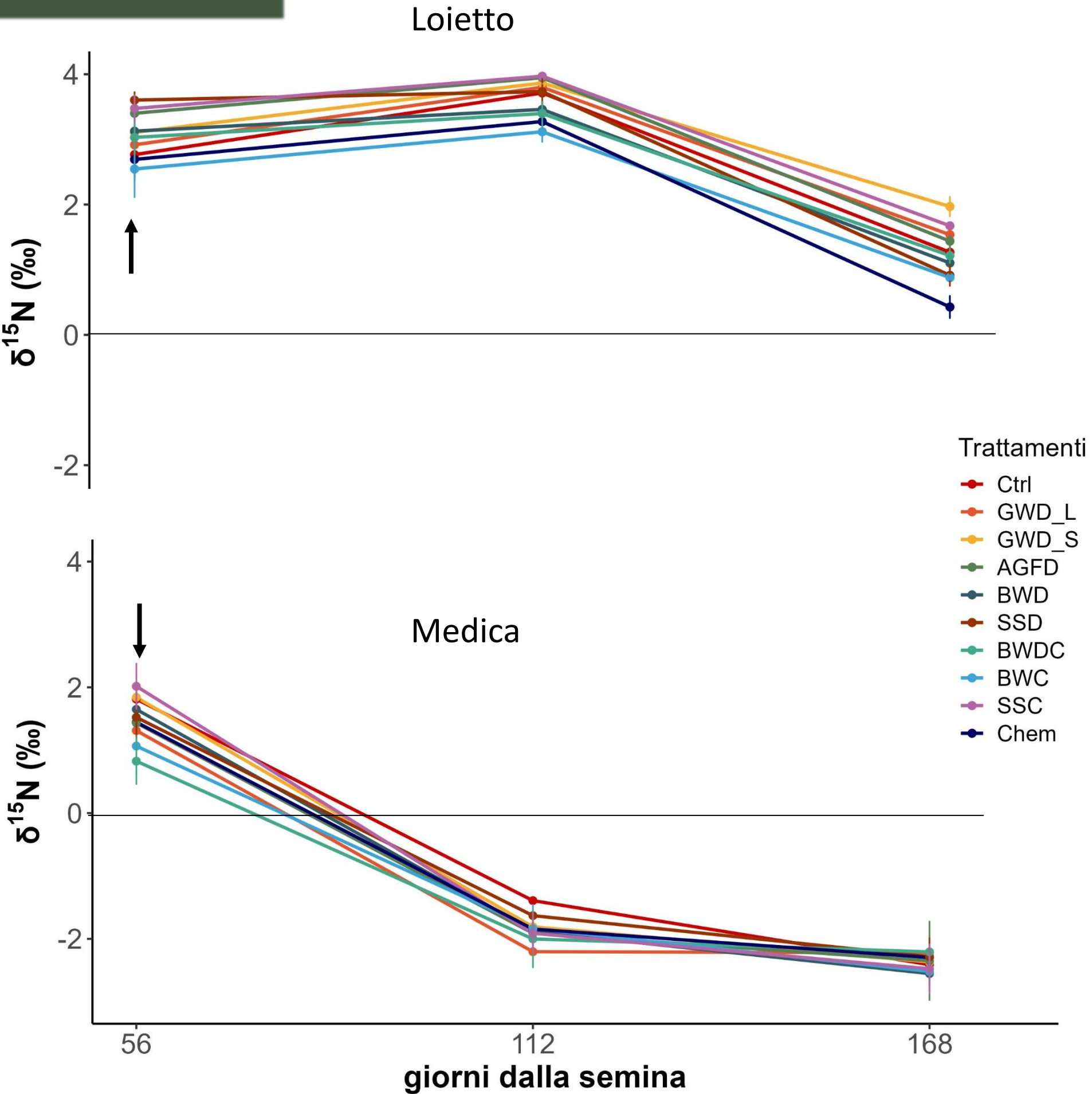


Risultati

$\delta^{15}\text{N}$ nei tessuti

Trattamenti	Medica			Loietto		
	Giorni dalla semina			Giorni dalla semina		
	56	112	168	56	112	168
CTRL	1.81	-1.24	-1.83	2.77	3.71	1.35
CHEM	0.67	-1.84	-2.30	2.92	3.80	1.54
GWD_L	1.31	-2.20	-2.22	3.11	3.87	1.97
GWD_S	1.84	-1.81	-2.37	3.40	3.95	1.44
AGFD	1.43	-1.91	-2.35	3.13	3.46	1.10
BWD	1.65	-1.88	-2.55	3.60	3.73	0.91
SSD	1.52	-1.63	-2.28	3.03	3.40	1.22
BWC	1.07	-1.84	-2.52	2.55	3.12	0.88
BWDC	0.83	-2.00	-2.21	3.47	3.97	1.67
SSC	2.02	-1.91	-2.48	2.69	3.27	1.34

$\delta^{15}\text{N}$ (‰) in erba medica e loietto a 56, 112, 168 giorni dalla semina.
I Valori riportati rappresentano la media di 3 repliche.

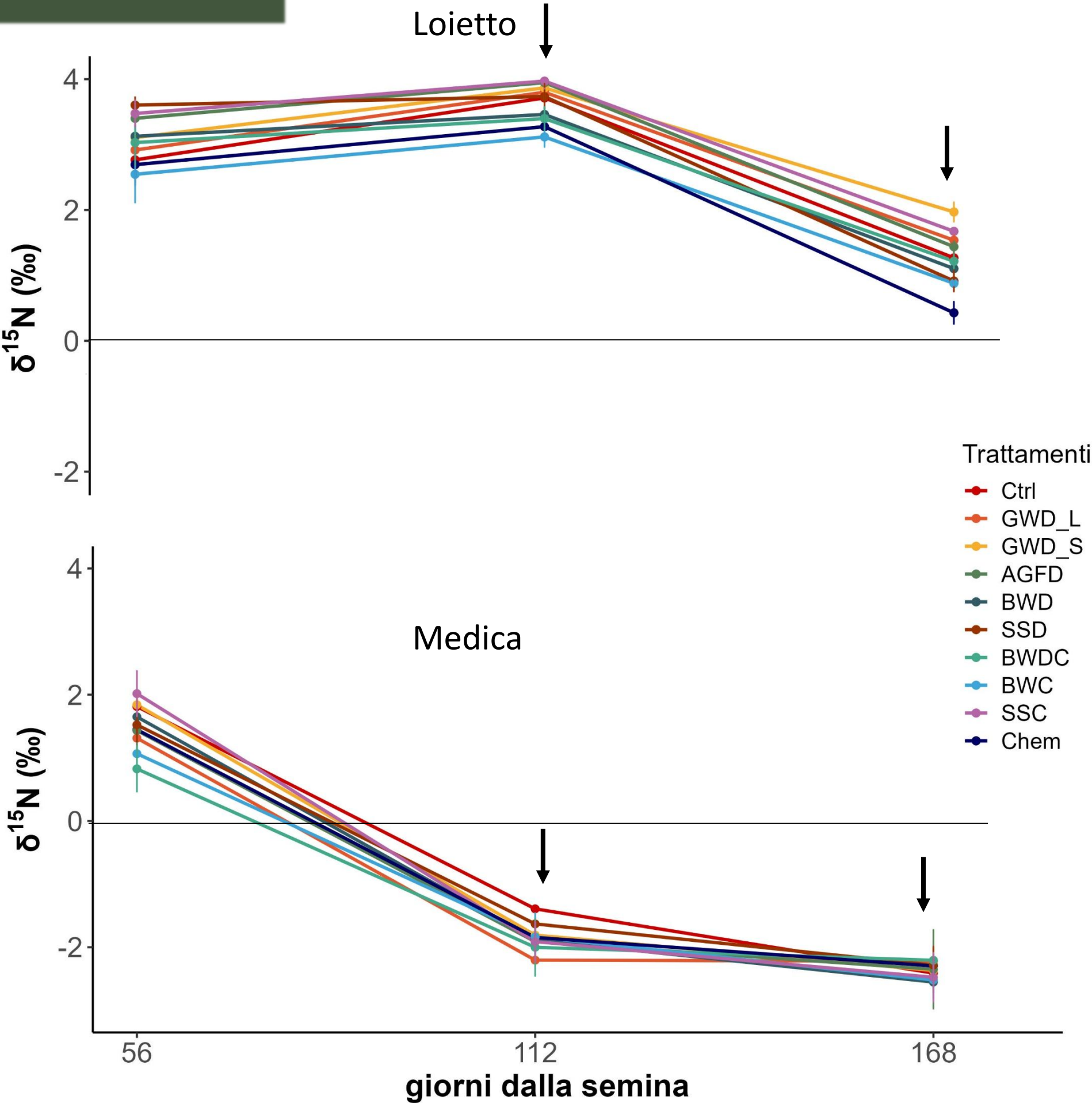


Risultati

$\delta^{15}\text{N}$ nei tessuti

Trattamenti	Medica			Loietto		
	Giorni dalla semina			Giorni dalla semina		
	56	112	168	56	112	168
CTRL	1.81	-1.24	-1.83	2.77	3.71	1.35
CHEM	0.67	-1.84	-2.30	2.92	3.80	1.54
GWD_L	1.31	-2.20	-2.22	3.11	3.87	1.97
GWD_S	1.84	-1.81	-2.37	3.40	3.95	1.44
AGFD	1.43	-1.91	-2.35	3.13	3.46	1.10
BWD	1.65	-1.88	-2.55	3.60	3.73	0.91
SSD	1.52	-1.63	-2.28	3.03	3.40	1.22
BWC	1.07	-1.84	-2.52	2.55	3.12	0.88
BWDC	0.83	-2.00	-2.21	3.47	3.97	1.67
SSC	2.02	-1.91	-2.48	2.69	3.27	1.34

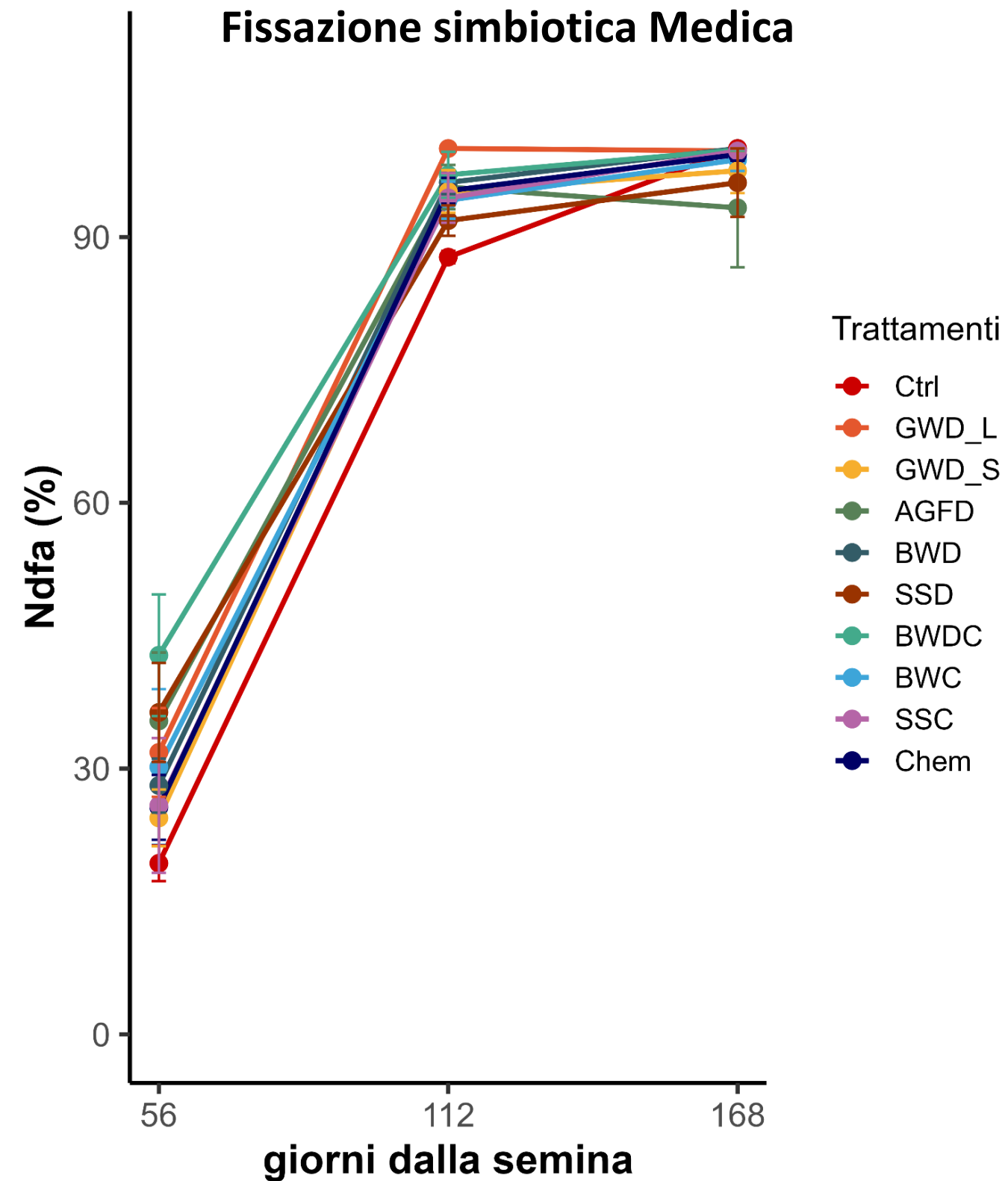
$\delta^{15}\text{N}$ (‰) in erba medica e loietto a 56, 112, 168 giorni dalla semina.
I Valori riportati rappresentano la media di 3 repliche.



Risultati

Fissazione dell'azoto

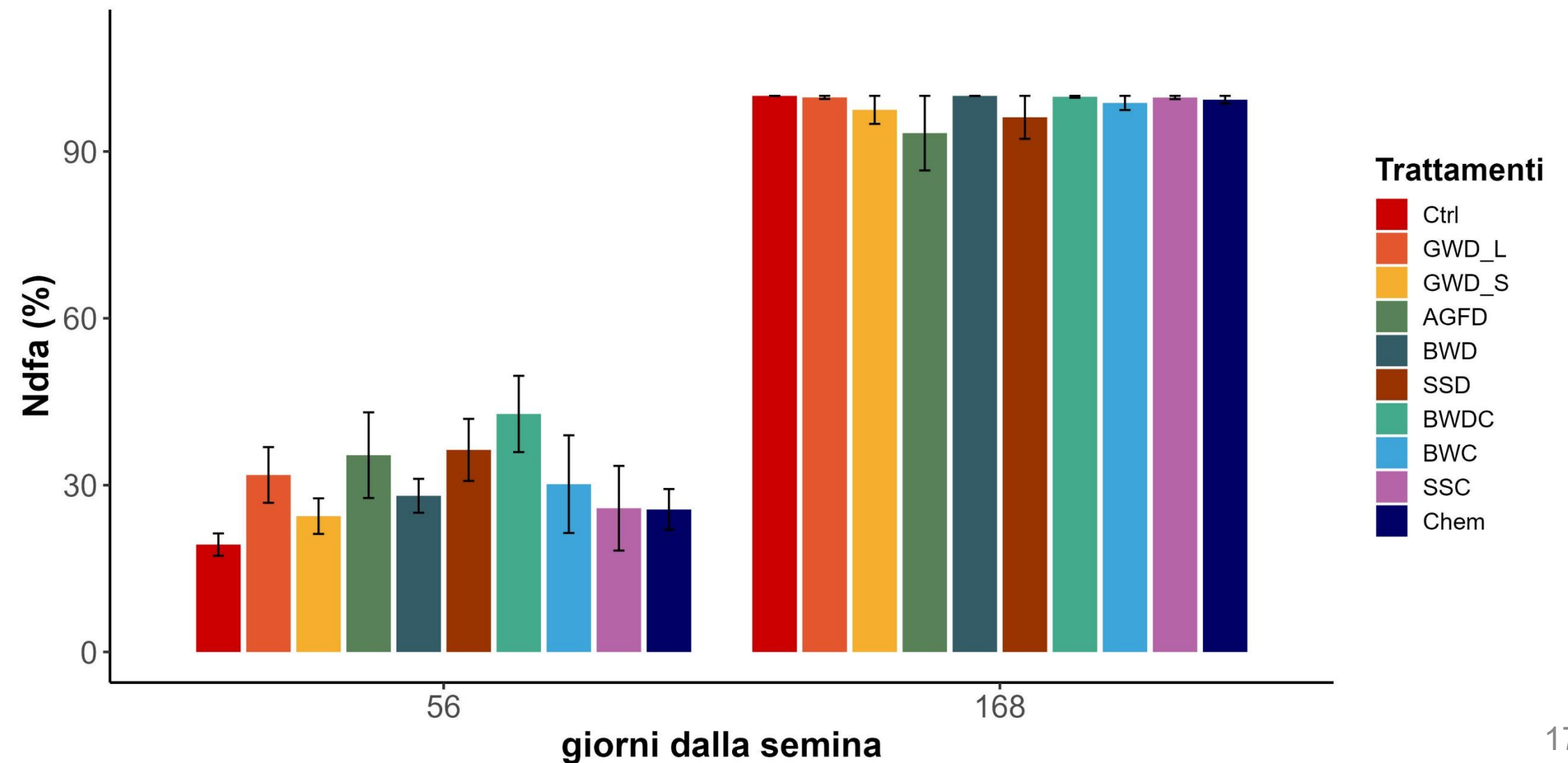
Fissazione simbiotica Medica



$$Ndfa (\%) = \frac{\delta^{15}N_{loietto} - \delta^{15}N_{medica}}{\delta^{15}N_{loietto} - \delta^{15}N_{atmosfera}} \times 100$$

Ndfa = N derivato dall'atmosfera

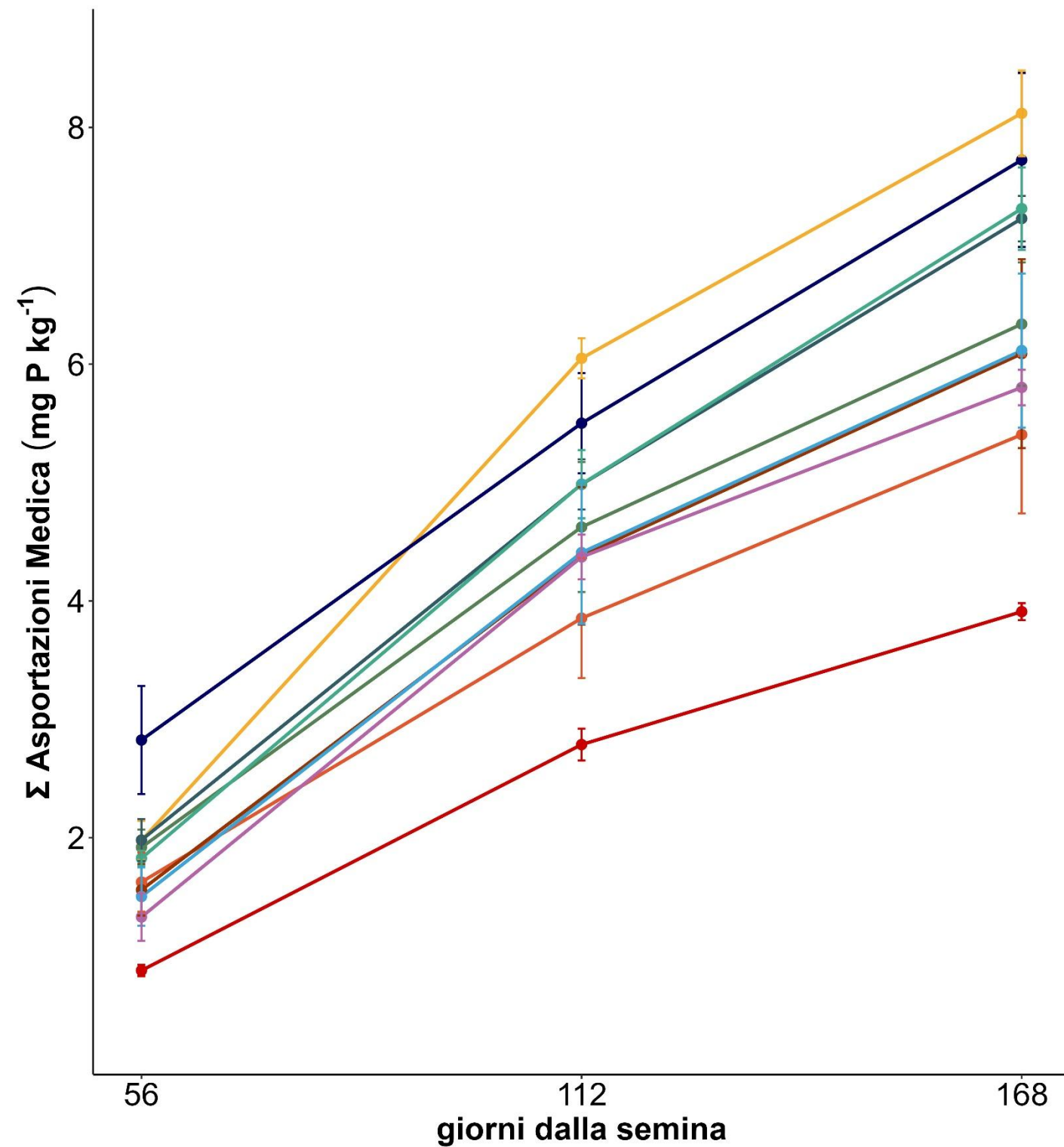
Confronto tra Ndfa a 56 e 168 giorni dalla semina



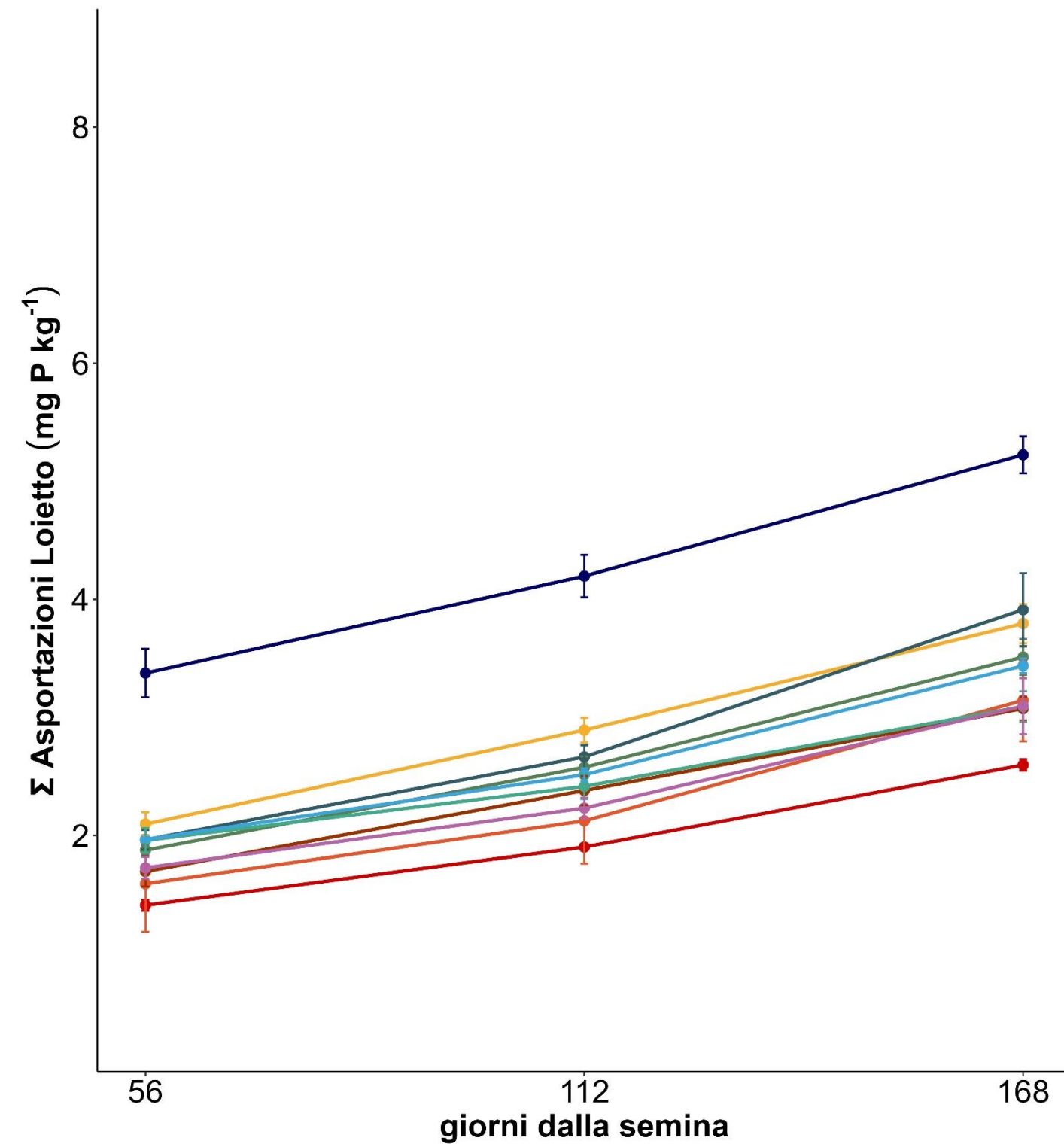
Risultati

Asportazioni di P nella parte epigea

Σ Asportazioni di fosforo in *medica*



Σ Asportazioni di fosforo in *loietto*



Trattamenti

- Ctrl
- GWD_L
- GWD_S
- AGFD
- BWD
- SSD
- BWDC
- BWC
- SSC
- Chem

Conclusioni

Lo studio ha valutato l'influenza di **fertilizzanti dal riciclo di rifiuti organici** su una **leguminosa modello** e su una specie di riferimento:

- **Digestati e compost** hanno garantito una **nutrizione fosfatica adeguata** lungo tutto il periodo di coltivazione.
- Nel lungo periodo i fertilizzanti organici **non hanno inibito la fissazione simbiotica dell'azoto** rispetto ai controlli

Il progetto si lega alla **circolarità dei nutrienti** e contribuisce alla **riduzione della dipendenza da fosforo minerale**, coerenti con la transizione verso **sistemi agricoli sostenibili e resilienti**.

A dark, moody photograph of pea pods and leaves, serving as a background for the text. The image is dimly lit, with the green of the pods and leaves appearing as dark tones against a black background. The text is centered in a white, serif font.

Grazie per l'attenzione

Bibliografia

Contesto globale

[1] Godfray, H. C. J., Aveyard, P., Garnett, T., Hall, J. W., Key, T. J., Lorimer, J., Pierrehumbert, R. T., Scarborough, P., Springmann, M., & Jebb, S. A. (2018). Meat consumption, health, and the environment. In *Science (New York, N.Y.)* (Vol. 361, Issue 6399). <https://doi.org/10.1126/science.aam5324>

Fertilizzanti inorganici

[2] Mew, M. C., Steiner, G., & Geissler, B. (2018). Phosphorus supply chain-scientific, technical, and economic foundations: A transdisciplinary orientation. *Sustainability (Switzerland)*, 10(4). <https://doi.org/10.3390/su10041087>

[3] Smil, V. (2000). *PHOSPHORUS IN THE ENVIRONMENT: Natural Flows and Human Interferences + Food and Agriculture Organization of the United Nations*

[4] Leigh, G.J. (2004). Haber-Bosch and Other Industrial Processes. In: Smith, B.E., Richards, R.L., Newton, W.E. (eds) Catalysts for Nitrogen Fixation. Nitrogen Fixation: Origins, Applications, and Research Progress, vol 1. Springer, Dordrecht. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-3611-8_2

[5] Ammonia Technology Roadmap – Towards more sustainable nitrogen fertiliser production, 2021. International Energy Agency (IEA).

Fertilizzanti organici

[6] Lin, J., Roswanjaya, Y. P., Kohlen, W., Stougaard, J., & Reid, D. (2021). Nitrate restricts nodule organogenesis through inhibition of cytokinin biosynthesis in *Lotus japonicus*. *Nature Communications*, 12(1). <https://doi.org/10.1038/s41467-021-26820-9>

MATERIALE ACCESSORIO

Trattamento	Spostamento chimico (ppm)	Attribuzione	Area relativa (%)
GWD_L	5.28	Ortofosfato	90.17
	4.12, 3.77	Fosfato monoestere	9.83
GWD_S	5.29	Ortofosfato	100
AGFD	5.29	Ortofosfato	100
BWD	5.2	Ortofosfato	96.06
	4.08, 3.97, 3.89, 3.72, 3.54, 3.45	Fosfato monoestere	3.94
SSD	5.2	Ortofosfato	96.85
	19.6, 3.97, 3.81	Fosfato monoestere	3.15
BWC	5.3	Ortofosfato	97.92
	4.16, 3.8, 3.67	Fosfato monoestere	2.08
BWDC	5.29	Ortofosfato	100
SSC	5.29	Ortofosfato	100