

Progetto AGRIP-RES

AGricoltura **RI**generativa di **P**recisione per un futuro
REsiliente e **S**ostenibile



Concimazione in AR e AP?? Parliamone!!!

Prof. Marco Napoli

Università degli Studi di Firenze – DAGRI

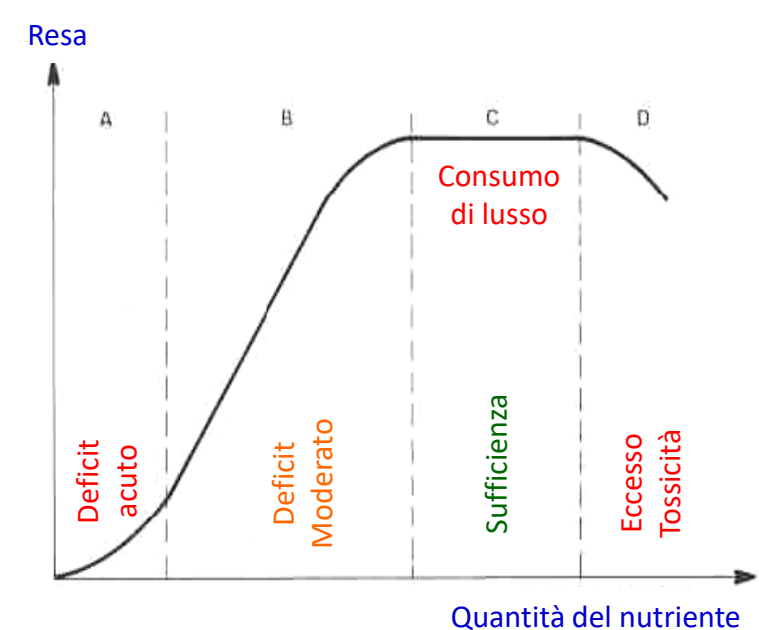
marco.napoli@unifi.it

Azione B1 - CUP ARTEA :1250102



Concimazione Legge del minimo

- A) A basse dosi del nutriente effetto meno che proporzionale, più che proporzionale per le successive più elevate
- B) Deficienza moderata, nel tratto finale incrementi di resa progressivamente minori man mano che ci si avvicina alla massima disponibilità del nutriente
- C) All'aumentare della disponibilità del nutriente non si ha aumento di produzione ma consumo di lusso
- D) All'aumentare ulteriore delle disponibilità del nutriente si entra nella soglia di tossicità con riduzione della produzione

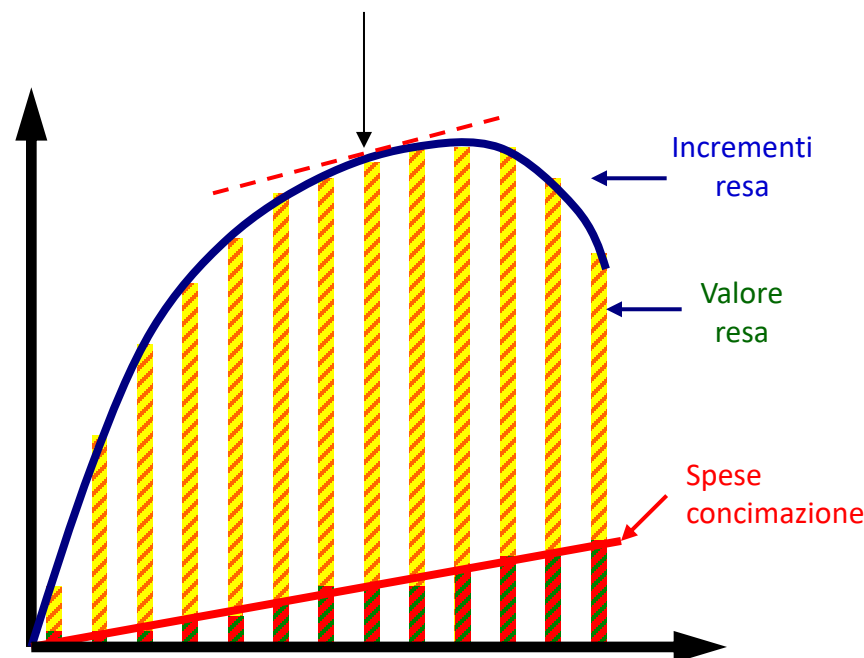


Legge di Liebig

Def: la quantità di biomassa totale prodotta dalla pianta è regolata dal nutriente che si trova nel suolo nella dose più bassa rispetto all'esigenze complessive della coltura



Concimazione limite superiore di convenienza economica

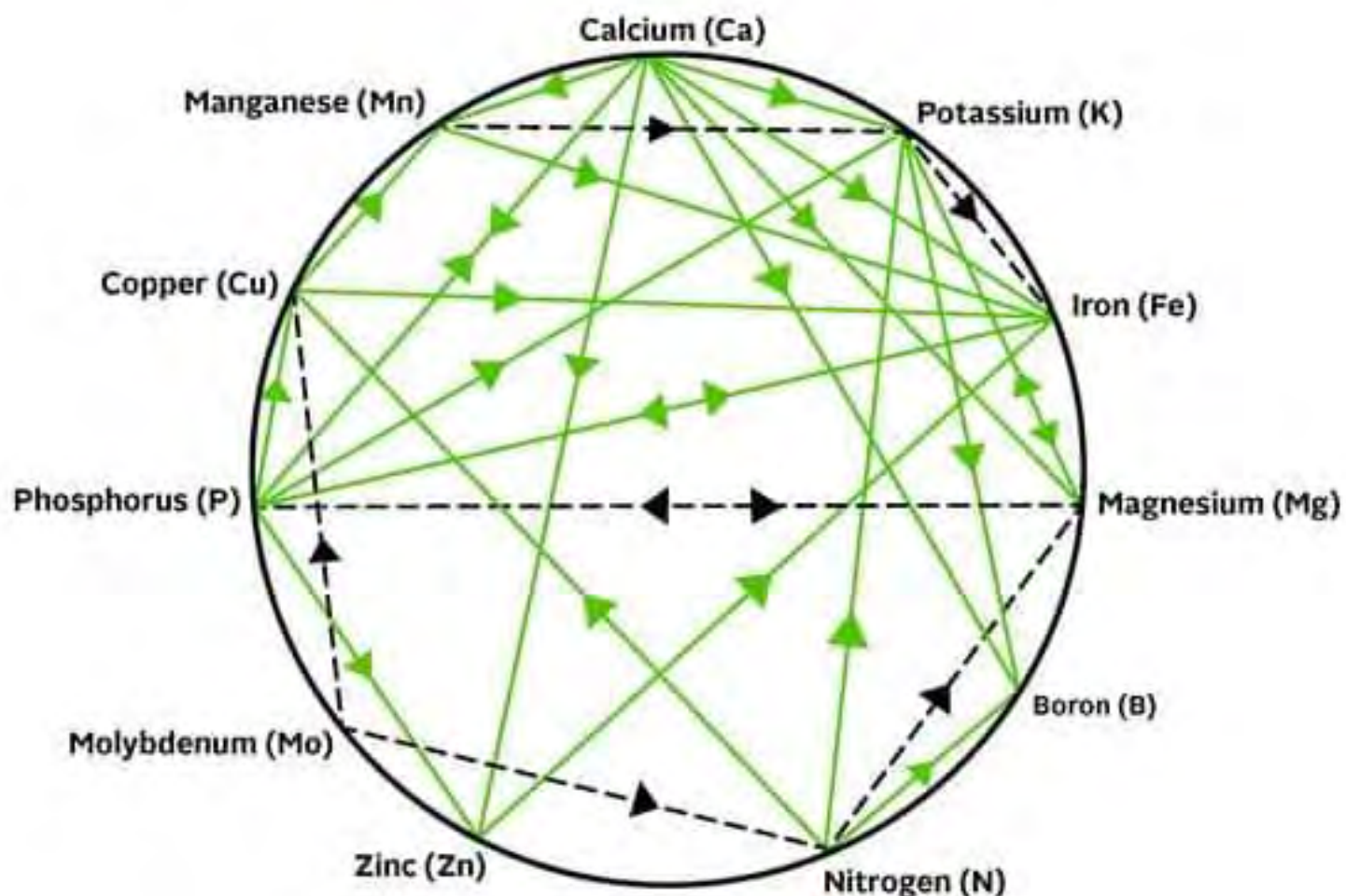


Non è valido puntare alla massima produzione

È opportuno fermarsi quando il valore dell'incremento di prodotto ottenuto con l'aumento delle quantità è uguale alla spesa marginale di concimazione (punto di contatto tra curva della resa e la tangente a questa)

Elementi nutritivi

Interazioni



Antagonismo

L'eccesso del nutriente riduce la disponibilità di un altro nutriente nella pianta

Stimolazione

L'eccesso del nutriente incrementa la richiesta di un altro nutriente da parte della pianta

Caratteristiche del terreno - Analisi e interpretazione dei risultati

Le analisi fisico-chimiche del terreno **più importanti** per l'impostazione di un piano di concimazione sono:

1. la tessitura;
2. il pH;
3. la concentrazione di sostanza organica;
4. la concentrazione di azoto totale;
5. la concentrazione di P_2O_5 assimilabile;
6. la concentrazione di K_2O scambiabile;
7. la concentrazione di calcare totale.

Analisi di base

Scheletro

Terra fine (Sabbia, Limo, Argilla)

Carbonio organico

Reazione del suolo (pH)

Calcare totale e calcare attivo

Conduttività elettrica

Azoto totale

Fosforo assimilabile

Capacità di Scambio Cationico (CSC)

**Basi di scambio (Potassio sc, Calcio sc.,
Magnesio Sc., Sodio sc.)**

Analisi semplificate

Carbonio organico

Azoto totale

Fosforo assimilabile

Basi di scambio (Potassio sc, Calcio sc.,
Magnesio Sc., Sodio sc.)

Analisi accessorie

Microelementi assimilabili

Acidità

Boro solubile

Zolfo

Fabbisogno in calce

Fabbisogno in gesso

Analisi fisiche

Massa volumica apparente

Massa volumica reale

Ritenzione idrica a 33 kPa e a 1500 kPa

Rapporto di Prova n. 718/2008

Descrizione analisi	risultato	unità misura	valori limite *	interpretazione	metodo	inc. %
scheletro > 2 mm	76,00	g/kg tot		medio	DM 13/09/99 met. II.1	
sabbia 2-0.05 mm	460,00	g/kg			DM 13/09/99 met. II.6	
limo 0.05-0.002 mm	424,00	g/kg			DM 13/09/99 met. II.6	
argilla < 0.002 mm	116,00	g/kg		Franco	DM 13/09/99 met. II.6	
pH H ₂ O	6,21			subacido	DM 13/09/99 met. III.1	
pH CaCl ₂	5,37				DM 13/09/99 met. III.1	
calcare totale (CaCO ₃)	0,00	g/kg		basso	DM 13/09/99 met. V.1	
calcare attivo	0,00	g/kg		basso	DM 13/09/99 met. V.2	
sostanza organica	35,00	g/kg		elevata	DM 13/09/99 met. VII.1	
carbonio organico	20,00	g/kg			DM 13/09/99 met. VII.1	
azoto totale	2,20	g/kg		alto	DM 13/09/99 met. VII.1	
rapporto C/N	9,10			equilibrato	//	
cap. sc. cationico (pH 8,2)	17,20	meq/100g		media	DM 11/05/82 met. 27	
calcio scambiabile - Ca	6,99	meq/100g		normale	DM 13/09/99 met. XIII.5	
magnesio scambiabile - Mg	1,75	meq/100g		alto	DM 13/09/99 met. XIII.5	
potassio scambiabile - K	0,17	meq/100g		basso	DM 13/09/99 met. XIII.5	
sodio scambiabile - Na	< 0,01	meq/100g		basso	DM 13/09/99 met. XIII.5	
saturatione basica	51,86	% CSC		media	//	
rapporto Ca/Mg	4,00			equilibrato	//	
rapporto Mg/K	10,30			elevato	//	
ESP	0,06	%		normale	//	
fosforo assimilabile (Olsen) - P ₂ O ₅	16,00	mg/kg		basso	DM 13/09/99 met. XV.3	

Elenco prove

Risultati analisi

Unità di misura

Giudizio agronomico

Metodologia
di analisi
impiegata

Elementi nutritivi

Macroelementi

N P K

Mesoelementi

Ca Mg S

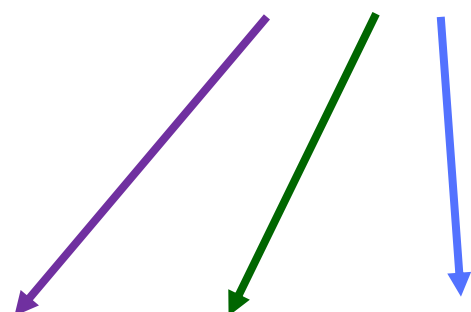
Microelementi

Fe Mn B Zn Cu Co Mo

Caratteristiche del terreno - Analisi e interpretazione dei risultati

Per ciascun nutriente, la quantità da distribuire è:

$$Q = F - E + U$$



$$Q = F - (P + M + C_p) + (L + V + D + I)$$

Q: quantità di elemento nutritivo da distribuire;

F: fabbisogno culturale;

E: quantità di nutriente che l'ambiente cede alla coltura (es. residui);

U: quantità di nutriente che l'ambiente sottrae alla coltura (es. perdite).

Q: quantità di elemento nutritivo da distribuire;

F: fabbisogno culturale;

P: quota di nutriente ottenibile con le piogge;

M: quota di nutriente ottenibile dalla mineralizzazione della sostanza organica;

C_p: apporti derivanti dalla coltura precedente;

L: lisciviazione;

V: volatilizzazione;

D: denitrificazione;

I: immobilizzazione.

Fabbisogno di nutrienti

Specie	Fabbisogno nutrienti (DM%)				
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO
* Avena	2.75	1.18	3.16	0.65	0.28
** Barbabietola da zucchero	0.4	0.15	0.64	0.15	0.14
? Canna da zucchero	0.11	0.1	0.34	0.03	0.02
** Carota	0.35	0.15	0.5	0.33	0.1
^ Cavolfiore	0.4	0.16	0.5	0.3	0.05
* Colza	4.5	2.43	6.2	6.35	0.77
° Cotone	12	4.3	8.67	9.18	3.07
° Erba Medica	2.65	0.72	1.85	3.03	0.36
* Fagiolo	5.35	1.9	3.55	0.21	0.24
* Frumento	2.4	1.25	2.51	0.8	0.28
* Girasole	2.67	4	5		
* Lino (da seme)	8.75	4.37	14.3	15	2.37
° Lupinella	2.2	0.46	1.3	1.68	
* Mais	2.14	1.06	2.48	0.78	0.5
^ Mela	0.65	0.18	0.75	0.87	0.35
^ Melone	0.35	0.11	0.5	0.2	0.07
* Orzo	2.48	0.96	2.31	1.1	0.28
** Patata	0.55	0.2	0.8	0.13	0.07
^ Pera	0.7	0.2	0.8	0.85	0.15
^ Pesca	0.95	0.2	0.93	1.3	0.4
^ Pomodoro	0.27	0.13	0.42	0.07	0.03
* Riso	1.9	1.25	1.82	0.91	0.4
* Segale	2.52	2.48	2.15	1.08	0.43
* Soia	6.4	1.5	4.38	0.3	0.29
* Sorgo	4.2	1.85	4.1	0.77	0.5
° Sulla	1.98	0.41	1.15	2.47	
? Tabacco	6.23	1.82	10.1	6.29	1.28
° Trifoglio bianco	2.52	0.78	1.7	1.84	0.4
° Trifoglio rosso	2.74	0.62	2.06	2.5	0.6
^ Vite	0.67	0.25	0.85	1.05	0.15

* Percentuale dei nutrienti richiesti per kg di peso secco di granella
** Percentuale dei nutrienti richiesti per kg di peso secco di radice
? Percentuale dei nutrienti richiesti per kg di peso secco della biomassa aerea
^ Percentuale dei nutrienti richiesti per kg di peso secco dei frutti
° Percentuale dei nutrienti richiesti per kg di peso secco del fieno
°° Percentuale dei nutrienti richiesti per kg di peso secco della fibra

Fosforo

Necessario per la costruzione di:

DNA, RNA, ATP, etc.

Assorbimento radicale soprattutto come **ione ortofosforico**
(PO_4^{3-})

Essenziale durante fioritura, fecondazione e fruttificazione.

Importante per **sviluppo radici**

precocità dello sviluppo

resistenza verso le avversità

abiotiche (freddo, vento)

biotiche (parassiti)

La quantità di fosforo da fornire alle colture con le pratiche agronomiche è valutata o come elemento (P) o come **anidride fosforica** (P_2O_5).

Fosforo totale e assimilabile

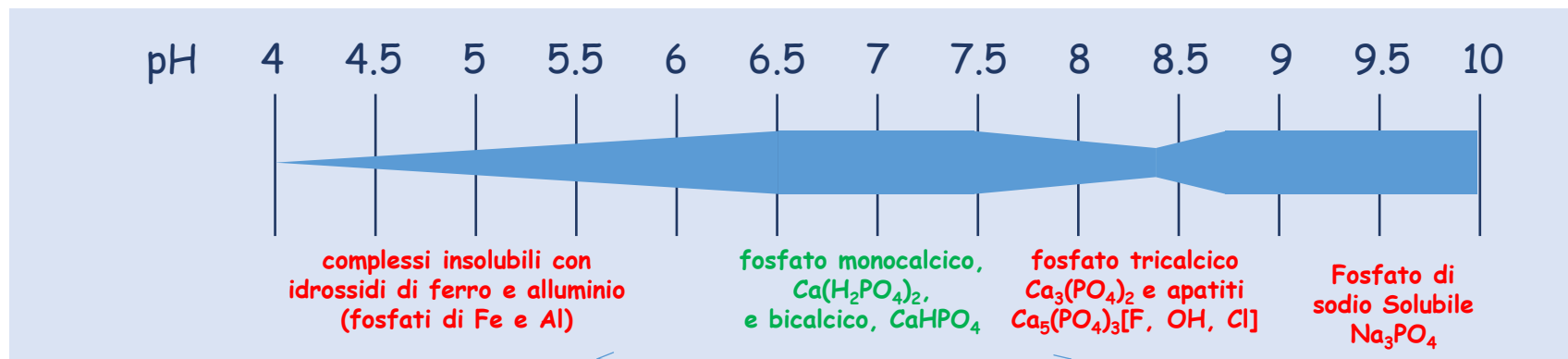
Il fosforo si trova nel suolo in diverse forme:

- ione nella soluzione;
- adsorbito sulle superfici degli ossidi e ossidi idrati di ferro e alluminio e sui minerali argillosi;
- nei minerali cristallini ed amorfi;
- legato alla sostanza organica.

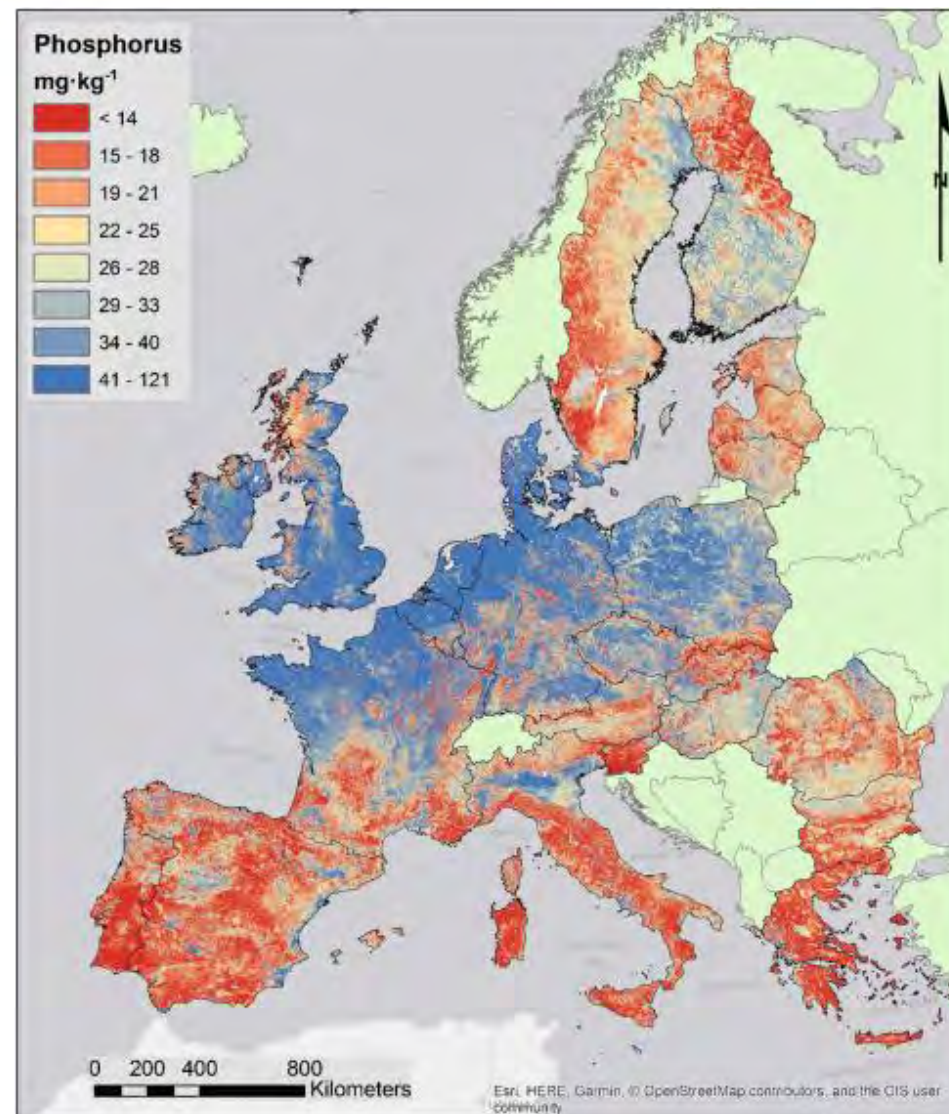
La solubilizzazione del fosforo minerale è lento → non sempre sufficiente.

Il fosforo organico (30 – 50% sul totale) è disponibile più rapidamente.

Il fosforo disponibile o aggiunto al suolo può essere velocemente retrogradato alle forme minerali insolubili.



← retrogradazione del fosforo →



Ballabio, C.; et al. 2019. Mapping LUCAS topsoil chemical properties at European scale using Gaussian process regression. *Geoderma* 2019, 355, 113912.

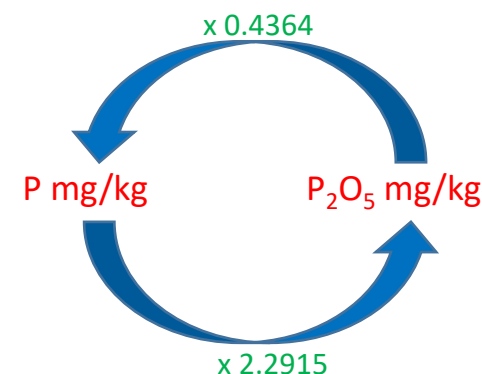
Topsoil phosphorus levels (Olsen P mg P/kg) within the EU . Image from Ballabio et al. 2019

Fosforo assimilabile

In funzione di quanto detto in precedenza, conoscere il fosforo totale può non essere utile quanto conoscere il fosforo effettivamente assimilabile dalle piante.

Determinazione del fosforo assimilabile (metodo Olsen)

Fosforo (mg P / kg)	Anidride fosforica (mg P ₂ O ₅ / kg)	Valutazione agronomica
< 6	< 14	Molto basso
6 – 12	14 – 28	Basso
12 – 20	28 – 45	Medio
20 – 30	45 – 70	Alto
> 30	> 70	Molto alto

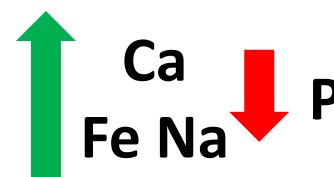
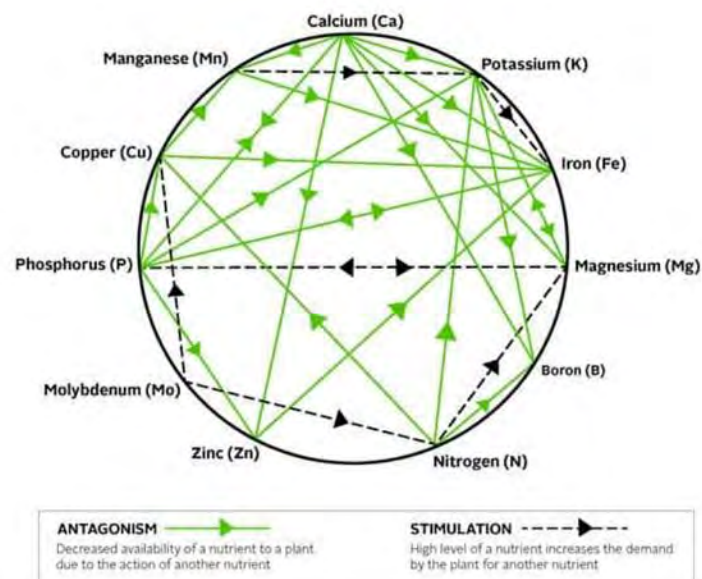


Quando distribuirlo

I concimi fosfatici cedono lentamente, ma in continuazione.

Vanno somministrati in dosi non elevate e al momento dell'utilizzo da parte delle colture, di solito in concimazioni presemina o alla semina.

La disponibilità del fosfato solubile è massima subito dopo la somministrazione e decresce nel tempo per i fenomeni di insolubilizzazione.



Fabbisogno di nutrienti - FOSFORO

Specie	Fabbisogno nutrienti (DM%)				
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO
* Frumento	2.4	1.25	2.51	0.8	0.28

* Percentuale dei nutrienti richiesti per kg di peso secco di granella

$$P_2O_5 \quad Q = F + U$$

Esempio Fabbisogno

La resa media del campo nel tempo (**4000 kg ha⁻¹**)

$$F = 4000 * 1.25\% = 50 \text{ kg } P_2O_5 \text{ ha}^{-1}$$

Esempio Perdite per immobilizzazione

Il campo ha un contenuto di **P disponibile nel suolo (P_{Olsens}) di 7 mg P kg⁻¹**

Inoltre l'**argilla** è il **42%**, il **pH è 8.2** e localmente la **pioggia** annuale è **750 mm**

Si assume **densità apparente BD del suolo di 1.2 t/mc** e **spessore radicale Z di 0.3 m**

$$P_{Olsent} = 51.5 - 0.011 * \text{Argilla} - 4.3 \text{ pH} - 0.008 \text{ Pioggia [annuale]}$$

$$P_{Olsent} = 51.5 - 0.011 * 42 - 4.3 * 8.2 - 0.008 * 750 = 9.778 \text{ mg P kg}^{-1}$$

$$U = 2.29 * 10 * BD * Z * (P_{Olsent} - P_{Olsens})$$

$$U = 2.29 * 10 * 1.2 * 0.3 * (9.778 - 7) = 22.9 \text{ kg } P_2O_5 \text{ ha}^{-1}$$

8.244

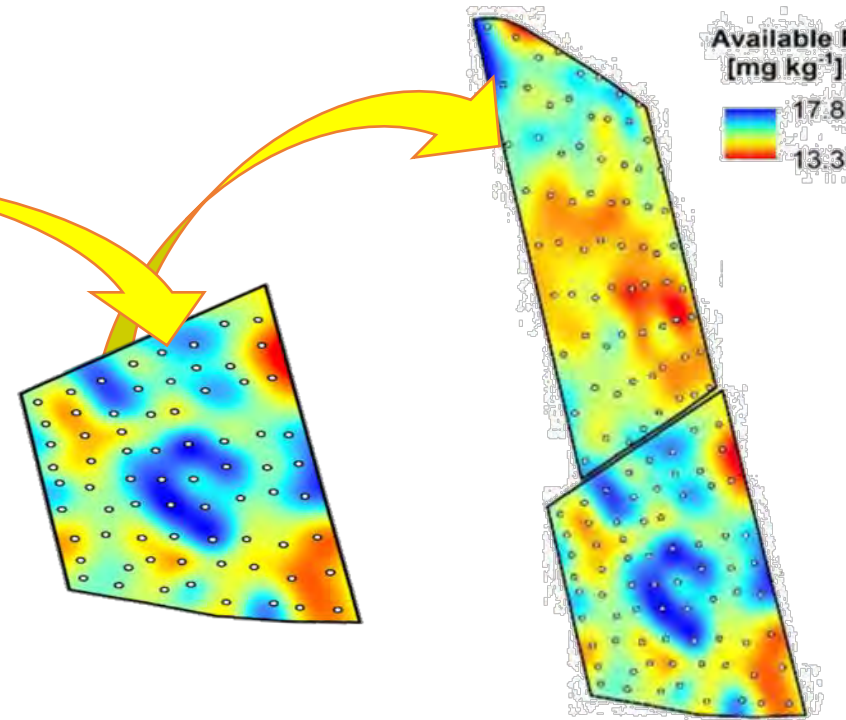
Fabbisogno di nutrienti - **FOSFORO**

Mappe di disponibilità di P

Mappa di campo
campionamento
sistematico



Caratterizzazione
chimico-fisica del
suolo



La distribuzione non uniforme dei nutrienti nel suolo condiziona direttamente le componenti produttive della coltura. Comprendere queste dinamiche è essenziale per una fertilizzazione a rateo variabile, mirata ed efficiente.



Mancini, M., Guerrini, L., Fabbri, C., Orlandini, S., & Napoli, M. (2024). Understanding the impact of within-field Olsen P variation on common wheat production in Olsen P deficient soils. *Journal of Agriculture and Food Research*, 15, 101007.

Campionamento per
caratterizzazione del suolo

Interpolazione dati P disponibile

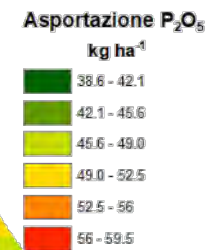
Mappa di prescrizione per
compensare P immobilizzato



Mappa di fertilizzazione P
(asportazione + immobilizzazione)



Mappa di raccolta
media 5 anni (kg / ha)



Mappa di prescrizione per
compensare P asportato

Fabbisogno di nutrienti – **FOSFORO** - Quando distribuirlo

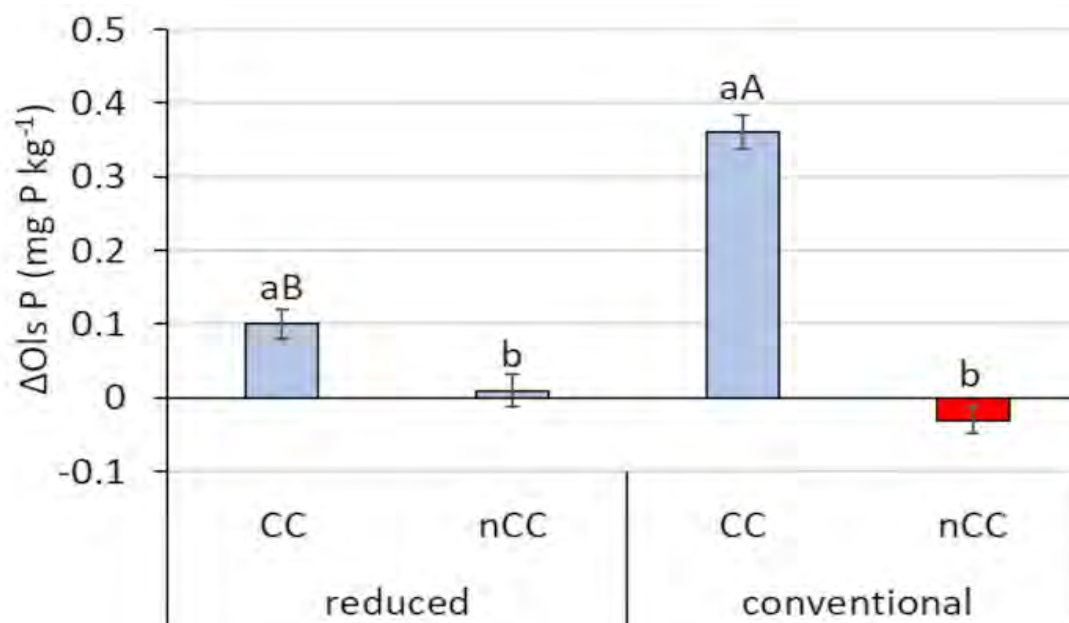
- I concimi fosfatici cedono lentamente, ma in continuazione.
- Vanno somministrati in dosi non elevate e al momento dell'utilizzo da parte delle colture, di solito in concimazioni presemina o alla semina.
- La disponibilità del fosfato solubile è massima subito dopo la somministrazione e decresce nel tempo per i fenomeni di insolubilizzazione.

	Fosfato naturale tenero	Perfosfato semplice	Perfosfato triplo
P ₂ O ₅ Totale	26%	19%	46%
P ₂ O ₅ Solubile in acidi minerali	26%	19%	46%
P ₂ O ₅ Solubile in acido formico 2%	14.5%	19%	46%
P ₂ O ₅ Solubile in citrato ammonico neutro	0-2%	19%	46%
P ₂ O ₅ Solubile in acqua	0-1%	16%	41.5%

- Analisi di mercato acquisti agosto 2025
 - 100 kg P₂O₅ da perfosf. triplo → 154 €
 - 100 kg P₂O₅ da perfosf. Sempl. → 200 €
 - 100 kg P₂O₅ da fosfato biamm. → 225 €
 - 100 kg P₂O₅ da fosfato biamm. → 225 €
 - 100 kg P₂O₅ + micronutrienti → 540 €
 - 100 kg P₂O₅ 3/11 Bio → 1152 €
 - 100 kg P₂O₅ da FNT + T.Atrov. → 700 €

- Evitare fertilizzanti complessi e con micronutrienti.
 - il P va dato in presemina → i micronutrienti non verranno utilizzati in modo efficiente → immobilizzazione

Uso del rafano dissodatore per migliorare la disponibilità di fosforo

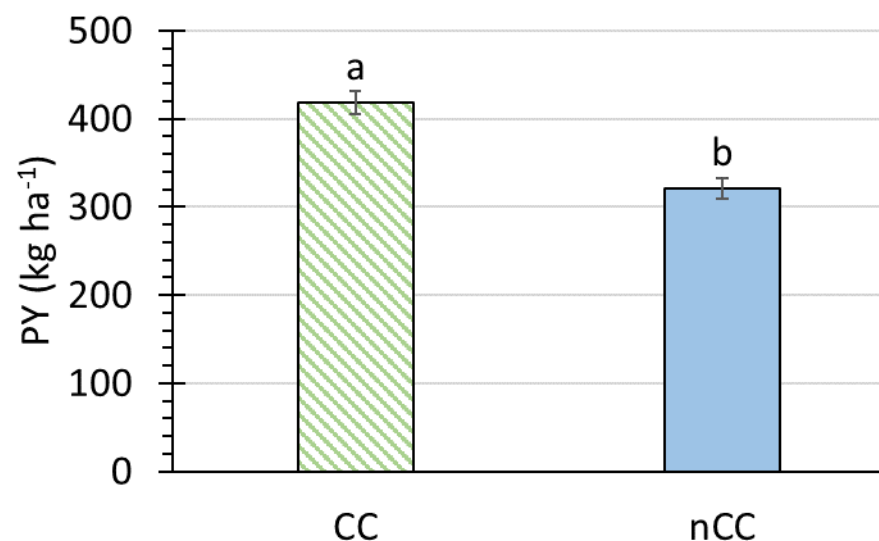
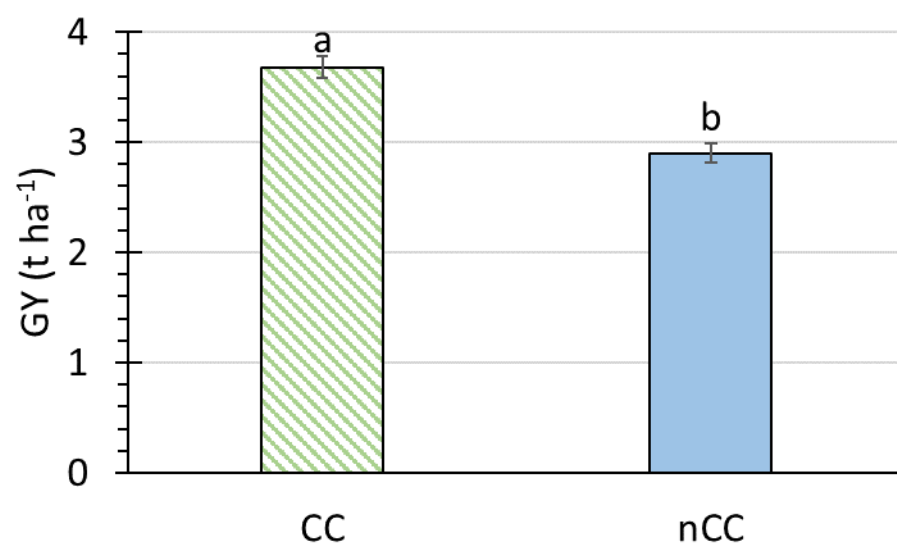


Pescatore, A., Delgado, A., Orlandini, S., Vergari, D., & Napoli, M. (2025). Tillage Radish as Cover Crop Improves Soil Health Indicators Depending on Pedoclimatic Conditions. *Soil Use and Management*, 41(2), e70089.

Pescatore, A., Delgado, A., Orlandini, & Napoli, M. (Accepted). Unveiling the impact of tillage radish on soil chemical, biological, and physical soil properties under reduced and conventional tillage. *Soil & Tillage Research*.

Prof. Marco Napoli - Università degli Studi di Firenze – DAGRI - marco.napoli@unifi.it

Uso del rafano dissodatore per migliorare la disponibilità di fosforo



Resa dell'orzo primaverile
↑ Se preceduto dal ravanello daikon
↓ Se non preceduto dal ravanello



Pescatore, A., Mihelic, R., Orlandini, S., Napoli, M., (In Revisione). Integrating multiple sustainable practices in Cropping Systems: A Field Study in the Mediterranean Region

Prof. Marco Napoli - Università degli Studi di Firenze – DAGRI - marco.napoli@unifi.it

Potassio

Partecipa alla sintesi di zuccheri, proteine e lipidi, al controllo dell'equilibrio acido-base, etc.

Assorbimento radicale come ione K^+

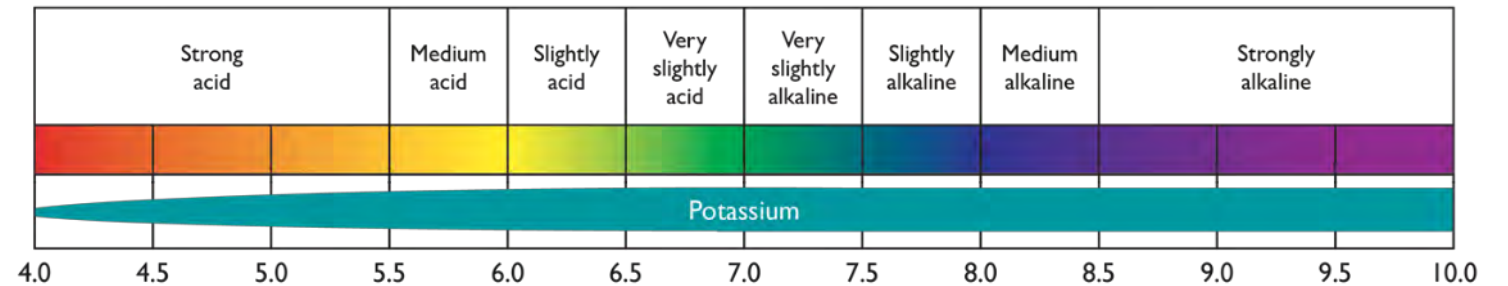
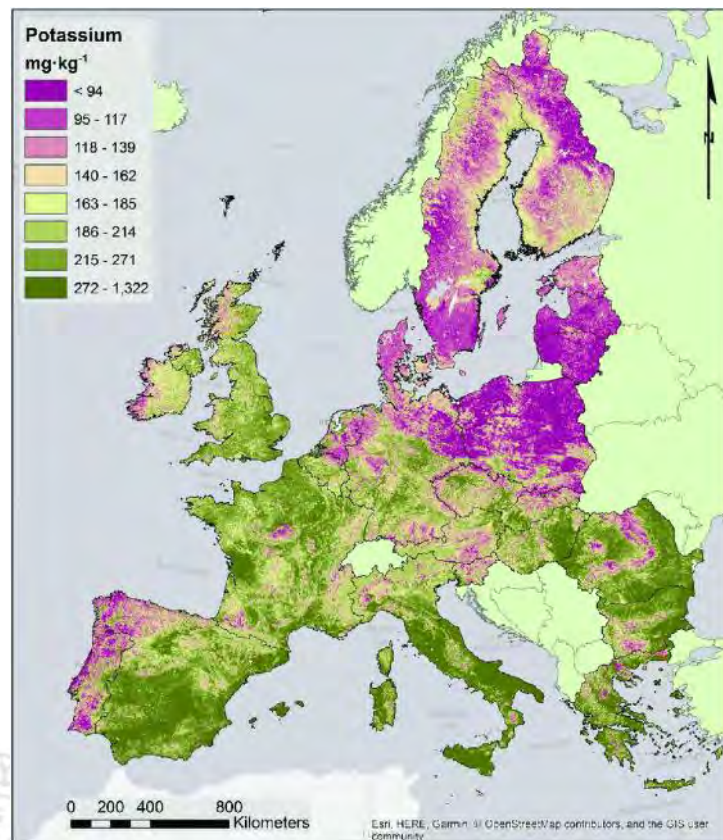
Essenziale durante la fase di plantula, fioritura, fecondazione e fruttificazione.

Importante per

- precocità dello sviluppo
- resistenza verso le avversità
 - abiotiche (freddo, vento)
 - biotiche (parassiti)

La quantità di potassio da fornire alle colture con le pratiche agronomiche viene valutata come K^+ o K_2O .

Ballabio, C.; et al. 2019. Mapping LUCAS topsoil chemical properties at European scale using Gaussian process regression. Geoderma 2019, 355, 113912.



Topsoil potassium levels within the EU . Image from Ballabio et al. 2019

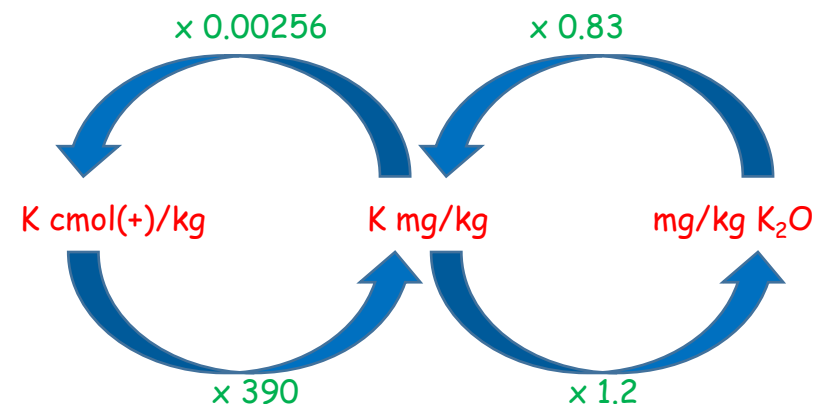
Potassio

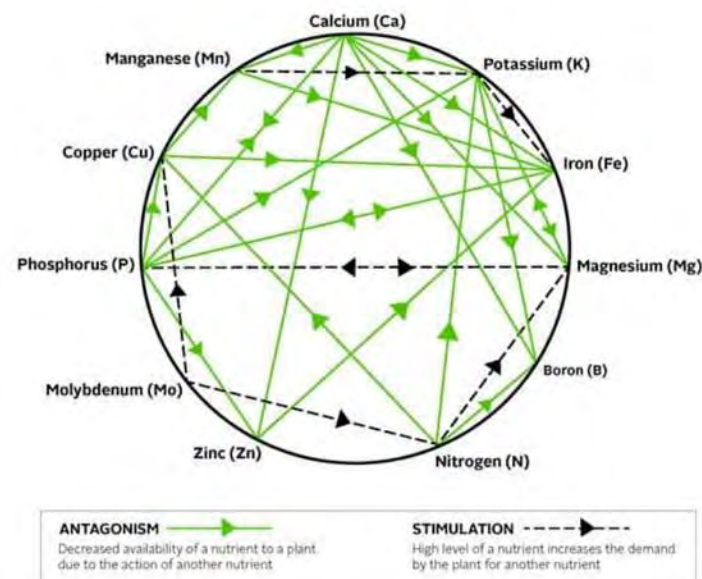
Potassio scambiabile

Uno degli scopi della concimazione potassica quindi è quello di costituire una riserva di potassio disponibile nel tempo, e difficilmente lisciviabile. I prodotti usati vanno per lo più profondamente interrati, al momento dell'impianto.

La valutazione agronomica del potassio è riferita alla tessitura del terreno

	Potassio scambiabile (mg/kg di K ₂ O)		
valutazione	sabbia > 60%	franco	argilla > 35%
basso	inferiore a 102	inferiore a 120	inferiore a 144
normale	tra 102 e 144	tra 120 e 180	tra 144 e 216
elevato	tra 145 e 180	tra 181 e 217	tra 217 e 265
molto elevato	superiore a 180	superiore a 217	superiore a 265





↑ N Na ↓ K
P Mg

↑ K ↓ N B
Mg

Mg/K	Agronomic evaluation	Consequences
< 2.9	Excess of K ⁺	Symptoms of Mg ²⁺ deficiency
2.9 – 5	Optimal condition	Balanced nutrition
> 5	Excess of Mg ²⁺	Symptoms of K ⁺ deficiency

Ratio of Mg/K (both express as cmol(+)/kg)

Fabbisogno di nutrienti - **POTASSIO**

Rapporto di concimazione	
Specie	P ₂ O ₅ : K ₂ O
* Avena	1:0.5
** Barbabietola da zucchero	1:1
? Canna da zucchero	1:0.7
** Carota	1:4
^ Cavolfiore	1:0.5
* Colza	1:0.8
° Cotone	1:0.5
° Erba Medica	1:1
* Fagiolo	1:1.3
* Frumento	1:0.5
* Girasole	1:0.5
* Lino (da seme)	1:0.8
° Lupinella	1:1
* Mais	1:0.5
^ Mela	
^ Melone	1:2
* Orzo	1:0.5
** Patata	1:1
^ Pera	1:1
^ Pesca	1:2
^ Pomodoro	1:1
* Riso	1:0.5
* Segale	1:0.5
* Soia	1:1.5
* Sorgo	1:0.5
° Sulla	1:1
? Tabacco	1:1
° Trifoglio bianco	1:1
° Trifoglio rosso	1:1
^ Vite	1:1.5

- In verde i rapporti di concimazione con potassio inferiore al fosforo, in rosso i rapporti in cui è richiesto più potassio rispetto al fosforo.
- Nella colonna a sinistra sono evidenziati i rapporti delle monocotiledoni, sulla destra le dicotiledoni

Fabbisogno nutrienti (DM%)					
Specie	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO
* Frumento	2.4	1.25	2.51	0.8	0.28
* Fagiolo	5.35	1.9	3.55	0.21	0.24

* Percentuale dei nutrienti richiesti per kg di peso secco di granella

° Percentuale dei nutrienti richiesti per kg di peso secco del fieno

$$K_2O \quad Q = F$$

Esempio 1

Asportazione stimata del fosforo nel frumento **50 kg P₂O₅ ha⁻¹**

$$F = 50 * 0.5 = 25 \text{ kg } K_2O \text{ ha}^{-1}$$

Esempio 2

Asportazione stimata del fosforo nel fagiolo **50 kg P₂O₅ ha⁻¹**

$$F = 50 * 1.3 = 65 \text{ kg } K_2O \text{ ha}^{-1}$$

Fabbisogno di nutrienti – **POTASSIO** - Quando distribuirlo

- Prima della semina. Se alla semina evitare eccessi → rischio salinità e danni ai semi
- Il K ha bassa mobilità → Interrarlo migliora il contatto con le radici, riduce perdite e inefficienze
- Concimazione in copertura (caso poco frequente) per coprire carenze → Fogliare??

Concimi	Integrata	Biologica
• Solfato Potassico Magnesiaco	0-0-52	0-0-30
• Sali potassici naturali grezzi (es. kainite, silvinite)		0-0-10/30 (Rischio cloro)
• Fosfato Monopotassico	0-52-34	
• Nitrato di Potassio	13-0-46	

Fabbisogno di nutrienti - **AZOTO**

Specie	Fabbisogno nutrienti (DM%)				
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO
* Frumento	2.4	1.25	2.51	0.8	0.28

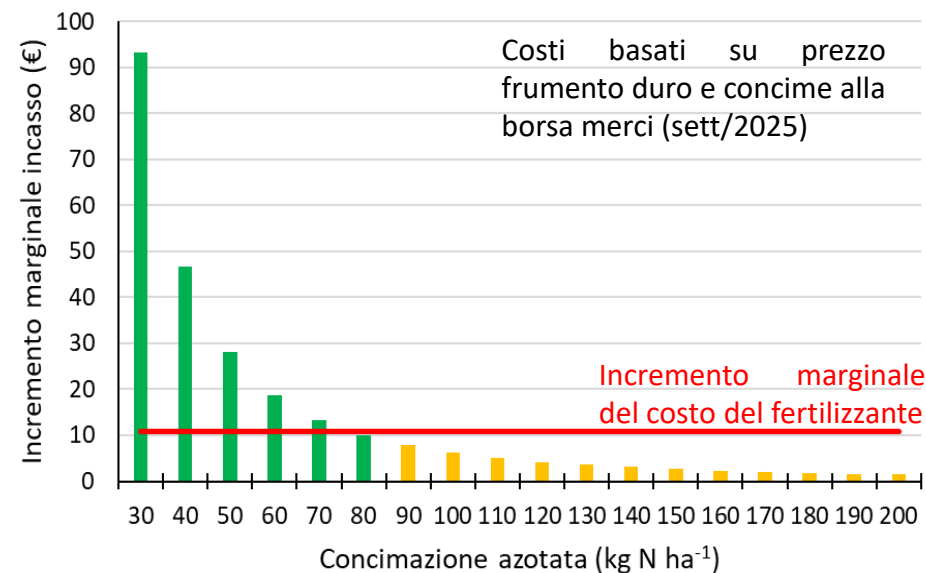
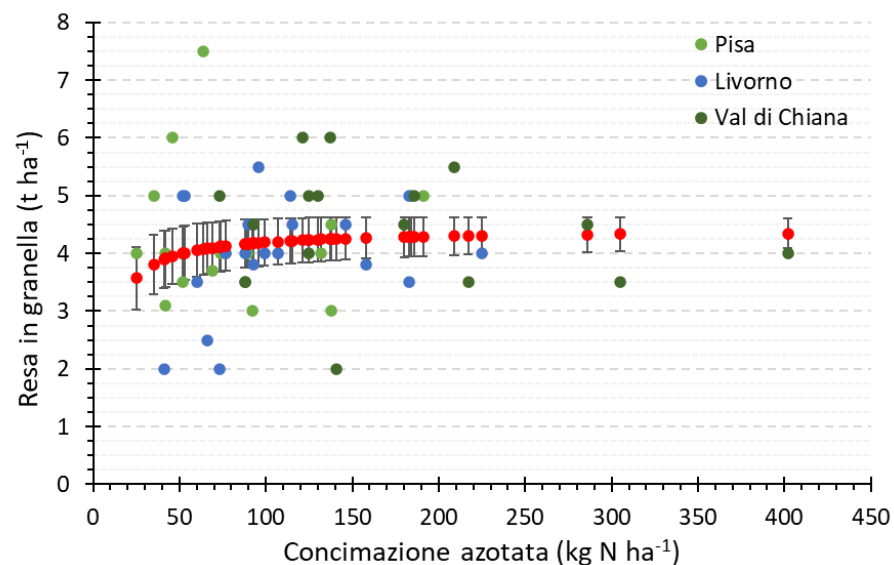
* Percentuale dei nutrienti richiesti per kg di peso secco di granella

$$N \quad Q = F - E + U$$

Esempio Fabbisogno

La resa media del campo nel tempo (**4000 kg ha⁻¹**)

$$F = 4000 * 2.4\% = 96 \text{ kg N ha}^{-1}$$



Fabbisogno di nutrienti - **AZOTO** quantità di nutriente che l'ambiente cede alla coltura

$$E = P + M + C_p$$

P: quota di azoto ottenibile con le piogge;

M: quota di azoto ottenibile dalla mineralizzazione della sostanza organica;

C_p: apporti di azoto derivanti dalla coltura precedente;

Esempio azoto ottenibile con le piogge

Localmente la **pioggia** annuale è **750 mm**

Si assume concentrazione di **azoto in pioggia 2 mg/L** (varia tra 2 e 4 mg/L, per la Toscana si assume in genere 2 mg/L)

$$P = (10 * \text{Pioggia [annuale]}) * [N_{\text{pioggia}}] / 1000 = (10 * 750) * 2 / 1000 = 15 \text{ kg N ha}^{-1}$$

Esempio azoto ottenibile dalla mineralizzazione della sostanza organica

l'**argilla** è il **42%**, il **limo** **30%** e localmente la **temperatura media** di luglio, agosto, settembre e ottobre è **24, 24, 19.8, 14.6 °C**

Si assume azoto totale **N_t** nel suolo **0.1%** densità apparente **BD** del suolo **di 1.2 t/mc** e spessore radicale **Z di 0.3 m**

$$\text{Coeff. mineralizzazione} \rightarrow \sum k_2 M = [\sum (T_m - 0.5)] * 10 / [(A + 20) * (0.3 * L + 20)]$$

$$= [(24 - 0.5) + (24 - 0.5) + (19.8 - 0.5) + (14.6 - 0.5)] * 10 / [(42 + 20) * (0.3 * 30 + 20)] = 0.447\%$$

$$M = 10000 * Z * 1000 * BD * N_t * \sum k_2 M = 10000 * 0.3 * 1000 * 1.2 * 0.1\% * 0.447\% = 16 \text{ kg N ha}^{-1}$$

Fabbisogno di nutrienti - AZOTO quantità di nutriente che l'ambiente cede alla coltura

$$C_p = N_{cp} + N_{co}$$

C_p : apporti di azoto derivanti dalla coltura precedente;

N_{cp} : quantità di azoto lasciata o sottratta dalla coltura precedente

N_{co} : quantità di azoto derivante dal concime organico distribuito alla coltura precedente

N_{cp} : quantità di azoto lasciata o sottratta dalla coltura precedente

Esempio azoto lasciato o sottratto dalla coltura precedente (POMODORO)

Si ipotizza una biomassa aerea residua (Z_a) di 4500 kg/ha e radicale (Z_r) di 750 kg/ha

Concentrazione di azoto nell'humus (N_{so}) del 5% e 2 mesi (n) prima della coltura seguente

$$N_{cp} = ((Z_a * N_{ra} + Z_r * N_{rr}) - ((Z_a + Z_r) * (K_1 * N_{so}))) * n / 12 =$$

$$= ((4500 * 2.5\% + 750 * 1\%) - ((4500 + 750) * 18\% * 5\%)) * 2 / 12 = 12.13 \text{ kg N ha}^{-1}$$

Esempio azoto lasciato o sottratto dalla coltura precedente (AVENA)

Si ipotizza una biomassa aerea residua (Z_a) di 4000 kg/ha e radicale (Z_r) di 1000 kg/ha

Concentrazione di azoto nell'humus (N_{so}) del 5% e 5 mesi (n) prima della coltura seguente

$$N_{cp} = ((Z_a * N_{ra} + Z_r * N_{rr}) - ((Z_a + Z_r) * (K_1 * N_{so}))) * n / 12 =$$

$$= ((4000 * 0.5\% + 1000 * 0.5\%) - ((4000 + 1000) * 15\% * 5\%)) * 5 / 12 = -5.2 \text{ kg N ha}^{-1}$$

Specie	N _{ra} (%)	N _{rr} (%)	K ₁ (%)
Avena	0.4 - 0.5	0.5 - 0.6	15
Barbabietola da zucchero	1.2 - 3.6	0.7 - 2.0	12
Carciofo	0.9 - 2.0	0.6 - 1.2	13
Carota	1.5 - 3.0		20
Cavolfiore	1.9 - 4.0	0.9 - 2.0	20
Colza	1.6 - 2.4	0.4 - 0.6	17
Cotone	0.8 - 1.5	0.5 - 1.0	20
Erba medica	2.5 - 4.5	1.5 - 3.0	25
Fagiolo	2.5 - 4.0	1.5 - 2.5	22
Fruento	0.4 - 0.6	0.5 - 0.7	15
Girasole	1.0 - 1.4	0.7 - 1.0	18
Lino (da seme)	0.5 - 0.8	0.4 - 0.6	16
Lupinella	2.0 - 3.5	1.2 - 2.5	25
Mais	0.6 - 0.8	0.6 - 0.8	17
Melanzana	1.5 - 3.0	0.8 - 1.5	15
Melone	1.5 - 3.0	0.8 - 1.5	18
Orzo	0.5 - 0.8	0.5 - 0.8	15
Patata	1.0 - 2.5	0.6 - 1.2	20
Peperone	1.5 - 3.0	0.8 - 1.5	16
Pisello	2.5 - 4.5	1.5 - 3.0	24
Pomodoro	1.5 - 3.0	0.8 - 1.5	18
Riso	0.5 - 0.9	0.2 - 0.5	16
Segale	0.5 - 0.8	0.5 - 0.8	15
Soia	3.0 - 5.0	2.0 - 3.5	22
Sorgo	1.1 - 1.4	0.6 - 0.7	17
Spinacio	3.0 - 5.0	1.5 - 2.5	18
Sulla	2.5 - 4.5	1.5 - 3.0	25
Tabacco	1.7 - 2.2	1.7 - 2.2	18
Trifoglio bianco	3.0 - 5.0	2.0 - 3.5	25
Trifoglio rosso	3.0 - 4.5	2.0 - 3.0	25

Fabbisogno di nutrienti - AZOTO quantità di nutriente che l'ambiente cede alla coltura

Nco - quantità di azoto derivante dal concime organico distribuito alla coltura precedente

$$Nco = Qco * \%No * kco$$

Qco = quantità di fertilizzante organico distribuito sulla coltura precedente

%No = percentuale azoto organico nel fertilizzante distribuito sulla coltura precedente

kco = percentuale di azoto disponibile per la coltura da concimare

Concime	Concentrazione azoto %No	Disponibilità di azoto nei concimi organici rispetto all'azoto totale distribuito		
		N mineralizzato	N da mineralizzare kco	
		1° anno	1° anno	2° anno
Letame bovino	0.50%	10%	20%	20%
Letame suino	0.50%	10%	20%	20%
Letame ovino	0.70%	10%	20%	20%
Letame equino	0.70%	10%	20%	20%
Liquame bovino	0.40%	60%	30%	
Liquame suino	0.25%	60%	30%	
Pollina	3	70%	20%	
Compost	0.50%	10%	20%	20%

Esempio azoto ottenibile da residui letamazione

Si assume letame bovino anno precedente **1000 kg ha⁻¹**

$$Nco = Qco * \%No * kco = 1000 * 0.5\% * 20\% = 1 \text{ kg N ha}^{-1}$$

quantità di nutriente che l'ambiente cede alla coltura

$$E = P + M + Cp = 15 + 16 + 13 = 44 \text{ kg N ha}^{-1}$$

Fabbisogno di nutrienti - **AZOTO** quantità di nutriente persa

$$U = L + V + D$$

L: lisciviazione;

V: volatilizzazione;

D: denitrificazione;

L: lisciviazione;

Esempio azoto perso per lisciviazione

Localmente la **pioggia tra ottobre e marzo** è **370 mm**; Concimazione con **50** kg di azoto da **Urea non interrata** e **30 mm** di pioggia

$$\text{Coeff. Lisciviazione} = (0.861 * (1 - \text{EXP}(-0.006 * (\text{Pioggia [ott-mar]} - 250)))) = (0.861 * (1 - \text{EXP}(-0.006 * (370 - 250)))) = 44.2\%$$

$$\text{Efert} = \sum N_i * \text{Forma}_i * \text{Incorporazione}_i * \text{Timing}_i$$

Si considera l'azoto distribuito prima della levata (entro marzo)

Forma → Nitrato = 1.0; Urea inib. ureasi = 0.8; Urea = 0.6; Ammon. + inib. nitrif. = 0.3 Organico = 0.2

Incorporazione → interrato/irrigato correttamente subito: 0.5–0.7; non interrato: 1.0

Timing → $1 - \exp(-0.001 * (R_i^{1.75}))$ con R_i pioggia (mm) nei 3–5 giorni dopo la distribuzione

$$\text{Efert} = 50 * 0.6 * 1 * (1 - \exp(-0.001 * (30^{1.75}))) = 9.6 \text{ kg N ha}^{-1}$$

$$L = (E + \text{Efert}) * \text{Coeff. Lisciviazione} = (44 + 9.6) * 44.2\% = 23 \text{ kg N ha}^{-1}$$

Fabbisogno di nutrienti - **AZOTO** quantità di nutriente persa

D: denitrificazione;

Esempio azoto perso per denitrificazione

Concimazione con **50** kg di azoto da **Urea non interrata** e **30 mm** di pioggia suolo argilloso mal drenato

Coeff. Denitrificazione

suolo sciolto e ben drenato:	2–5%
suolo medio:	5–10%
suolo pesante e con ristagno:	10–20%

$$D_{fert} = \sum N_i * Forma_i * Incorporazione_i * Timing_i$$

Si considera l'azoto distribuito prima della levata (entro marzo)

Forma → Nitrato = 1.0; Urea = 0.6; Urea inib. ureasi = 0.5; Ammon. + inib. nitrif. = 0.3; Organico = 0.2

Incorporazione → interrato/irrigato correttamente subito: 0.7–1.0; non interrato: 0.5–0.8

Timing → $1 - \exp(-0.002 * (R_i^{1.75}))$ con R_i pioggia (mm) nei 3–5 giorni dopo la distribuzione

$$D_{fert} = 50 * 0.6 * 0.7 * (1 - \exp(-0.002 * (30^{1.75}))) = 11.3 \text{ kg N ha}^{-1}$$

$$D = (E + D_{fert}) * \text{Coeff. Denitrificazione} = (44 + 11.3) * 15\% = 8.3 \text{ kg N ha}^{-1}$$

Fabbisogno di nutrienti - **AZOTO** quantità di nutriente persa

V: volatilizzazione;

Esempio azoto perso per volatilizzazione

Concimazione con **50** kg di azoto da **Urea non interrata** e **4 giorni senza pioggia** nei 7 giorni seguenti e con temperature medie > 15 °C

$$V = \sum N_i * Forma_i * Incorporazione_i * Timing_i$$

Si considera l'azoto distribuito in superficie o poco interrato, in condizioni favorevoli alla perdita di NH_3

Forma →

Urea = 1.0; Urea inib. ureasi = 0.3; Ammoniacale = 0.7; Nitrato = 0.0; Organico = 0.4

Incorporazione →

interrato o irrigato entro 24 h: 0.1–0.3; interrato/irrigato entro 48 h: 0.3–0.5; non interrato: 1.0

Timing →

$1 - \exp(-0.05 \cdot T_i)$ con T_i = giorni con $T > 15$ °C e assenza di pioggia (>5 mm) nei 5–7 giorni dopo

$$V = 50 * 1.0 * 1.0 * (1 - \exp(-0.05 * 4)) = 9.1 \text{ kg N ha}^{-1}$$

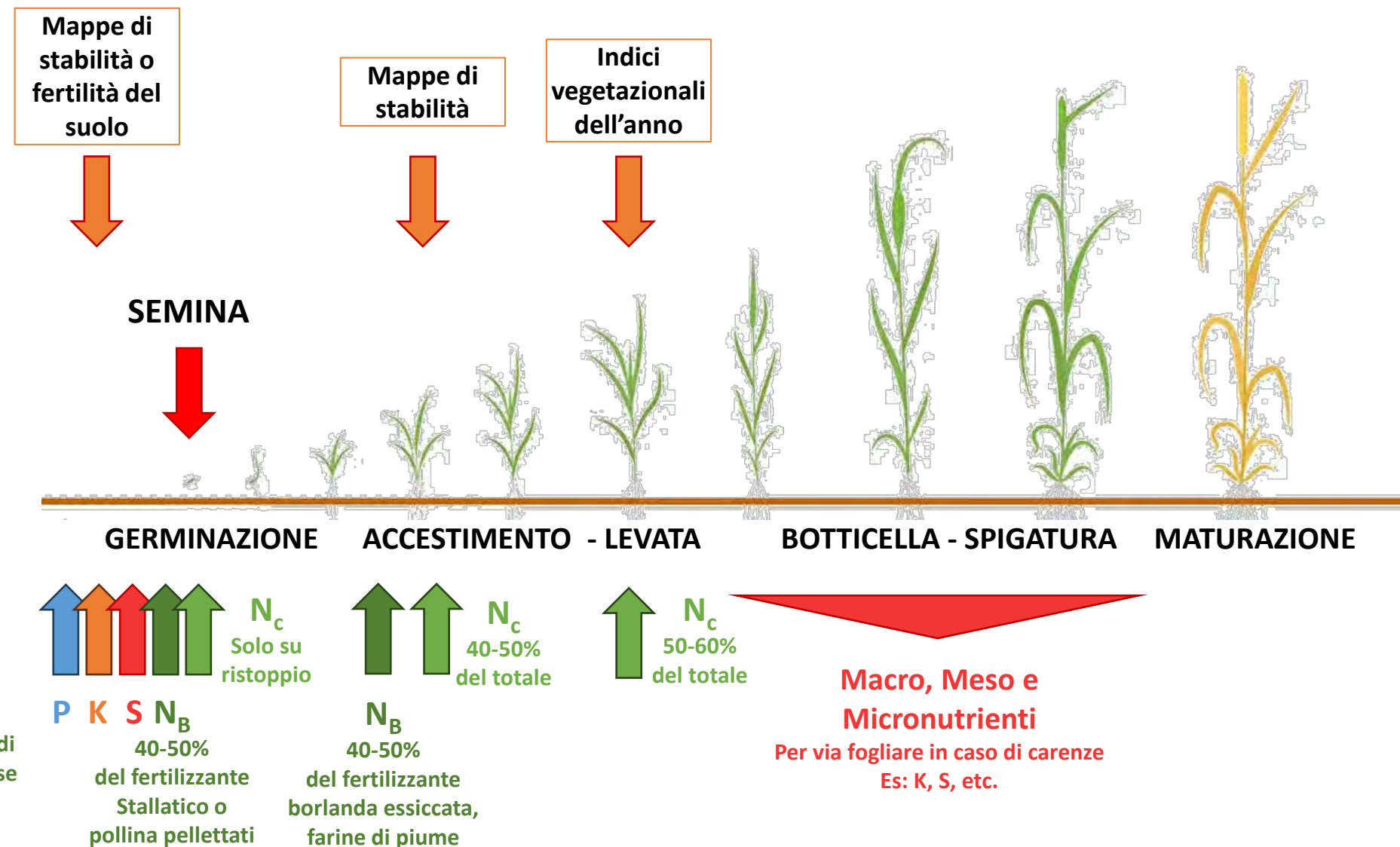
quantità di nutriente persa → $U = L + D + V = 23 + 8 + 9 = 40 \text{ kg N ha}^{-1}$

Bilancio complessivo dell'azoto N $Q = F - E + U = 96 - 44 + 40 = 92 \text{ kg N ha}^{-1}$

Con una gestione agronomica ottimale, l'efficienza di utilizzo del fertilizzante azotato (**NfUE**) è circa **80%**.

Per compensare si dovrebbe correggere $Q = 92 * 100 / 80 = 115 \text{ kg N ha}^{-1}$

Apporto nutrienti



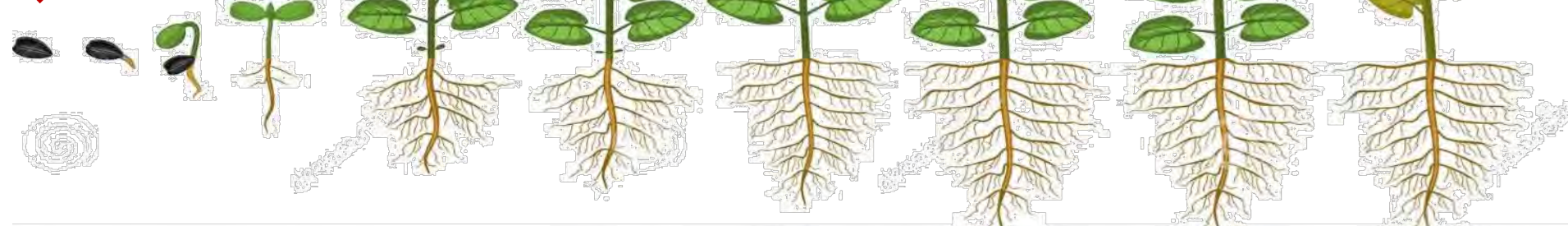
Apporto nutrienti

Mappe di
stabilità o
fertilità del
suolo



PRE SEMINA
3-4 sett prima

SEMINA



GERMINAZIONE EMERG. CRESCITA VEGET. BOTTONE F. INIZIO FIORITURA ----- FINE FIORITURA MATURAZIONE



N_B

Sovescio di
leguminose



P

K

S

N_B

Organico
a lento
rilascio

N_C

Ureico o
Ammon.
80-90%
totale



N_C

nitrico
10-20%
del totale

**Macro, Meso e
Micronutrienti**

Per via fogliare in caso di carenze
Es: K, S, etc.

N_B = Azoto da fonti
ammesse in agricoltura
biologica
 N_C = Azoto da concimi
chimici ammessi in
agricoltura integrata

Apporto nutrienti

Mappe di
stabilità o
fertilità del
suolo



SEMINA



GERMINAZIONE EMERGENZA CRESCITA VEGETATIVA FIORITURA - ALLEGAGIONE MATURAZIONE

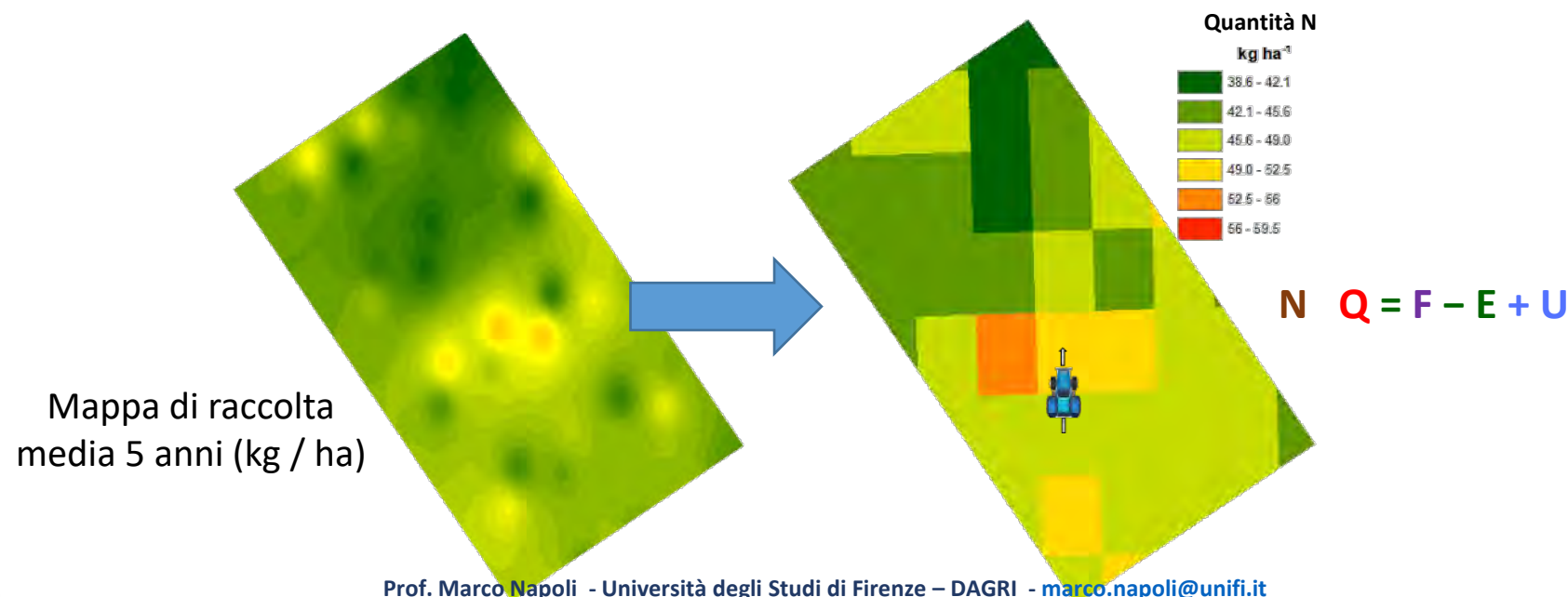


**Macro, Meso e
Micronutrienti**

Per via fogliare in caso di carenze
Es: K, S, etc.

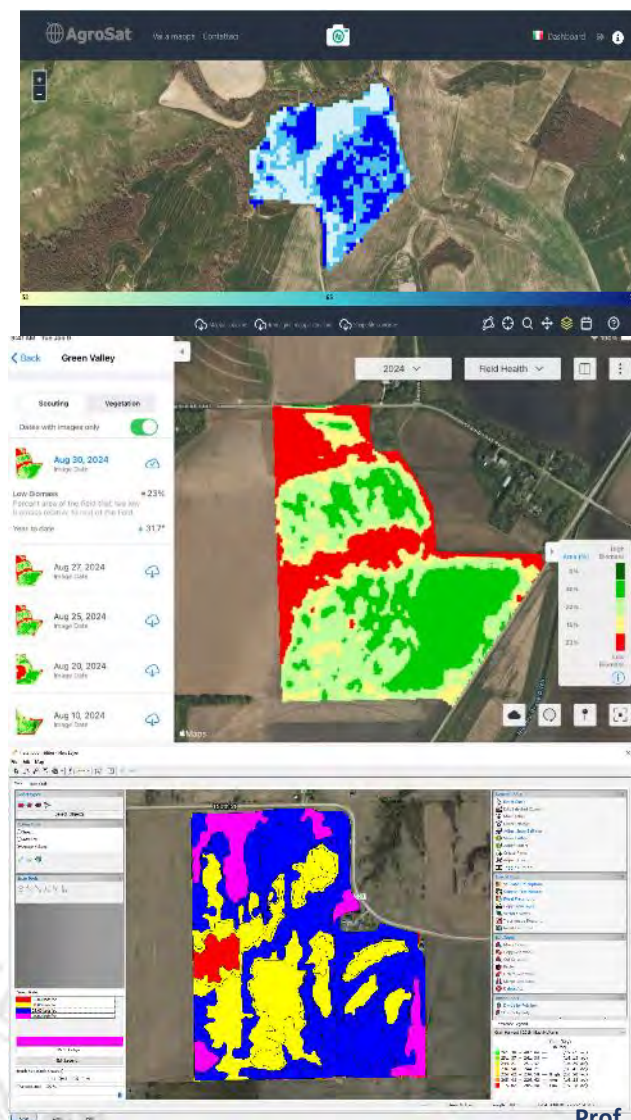
Fertilizzazione azotata sulla base delle mappe di stabilità

- Utile per fertilizzazioni quando la copertura vegetale non è determinabile da satellite perché assente (pre-semina) o condizioni meteo (nuvolosità)
- Si utilizza le mappe di raccolta degli anni precedenti per individuare le produzioni medie e su queste calcolare la quota di N da apportare.
- Se si effettua la fertilizzazione in copertura in 2 passaggi (es. 50% ad accestimento e 50% a levata), si suggerisce questo metodo per determinare la quota di N all'accestimento. Metre altri metodi basati su IV, per la distribuzione alla levata.



Fertilizzazione azotata in copertura sulla base di indici vegetazionali

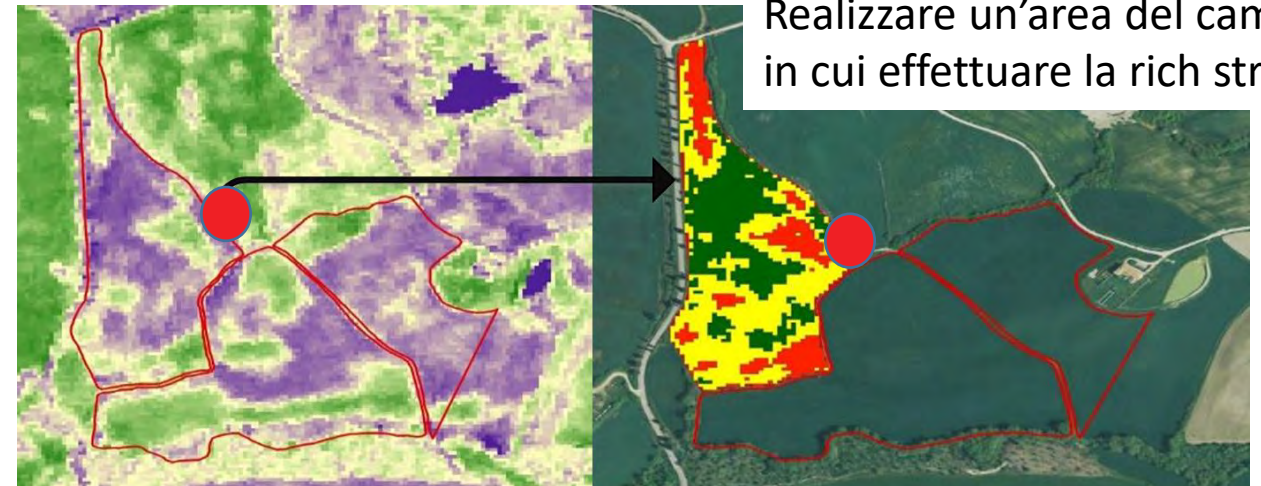
Come associare la dose di azoto rispetto alle aree individuate?



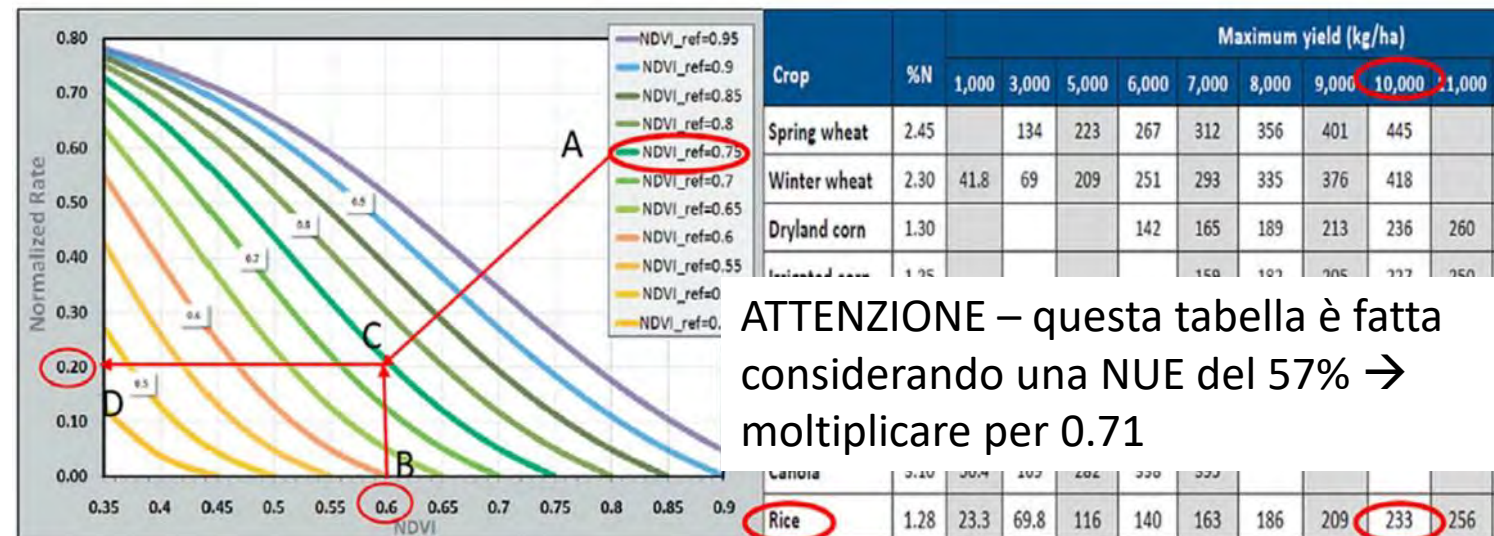
Approcci	Distribuzione azoto
Convenzionale - Flat	N basato sul consiglio o stime di produzione
King	N proporzionale a livelli NDVI
Robin hood	N inversamente proporzionale a livelli NDVI
Rich strip	N valutato rispetto alla striscia di riferimento
NNI	N basato sul fabbisogno stimato della coltura

Fertilizzazione azotata in copertura sulla base di indici vegetazionali

Rich strip



Realizzare un'area del campo
in cui effettuare la rich strip



ATTENZIONE – questa tabella è fatta
considerando una NUE del 57% →
moltiplicare per 0.71

Corn	0.20	0.4	0.7	0.8	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
Rice	1.28	23.3	69.8	116	140	163	186	209	233	256

Fabbri, C., Napoli, M., Verdi, L., Mancini, M., Orlandini, S., & Dalla Marta, A. (2020). A sustainability assessment of the greenseeker n management tool: A lysimetric experiment on barley. Sustainability, 12(18), 7303.

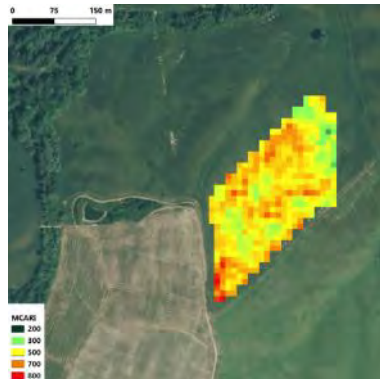
Prof. Marco Napoli - Università degli Studi di Firenze – DAGRI - marco.napoli@unifi.it

Fertilizzazione azotata in copertura sulla base di indici vegetazionali

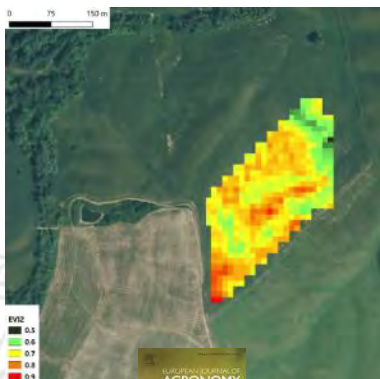
NNI

Copernicus Hub

Sentinel 2 A bands

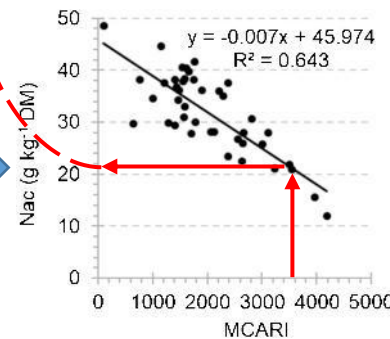


MCARI

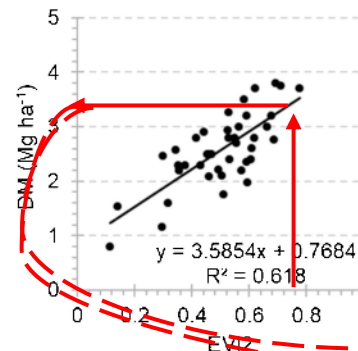


EVI2

Nact

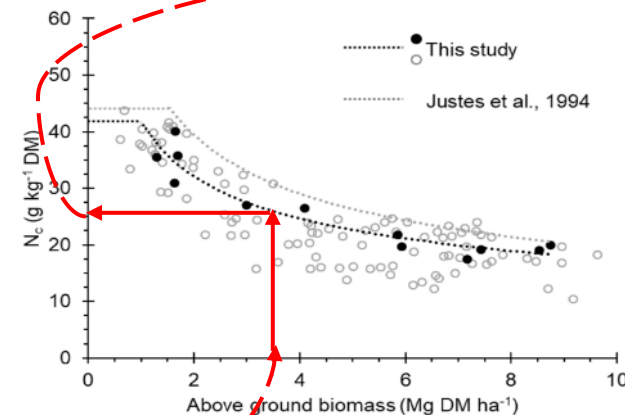


DM

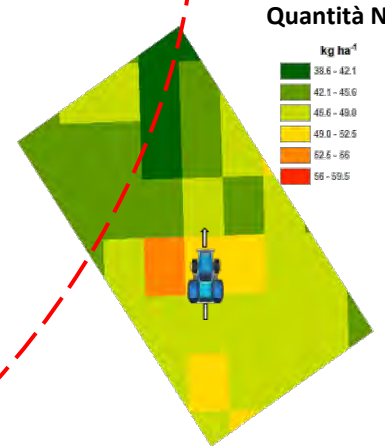
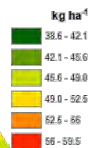


$$\text{DoseN} = \text{Dose prevista} + (\text{Nc} - \text{Nact}) * \text{DM}$$

Nc



Quantità N

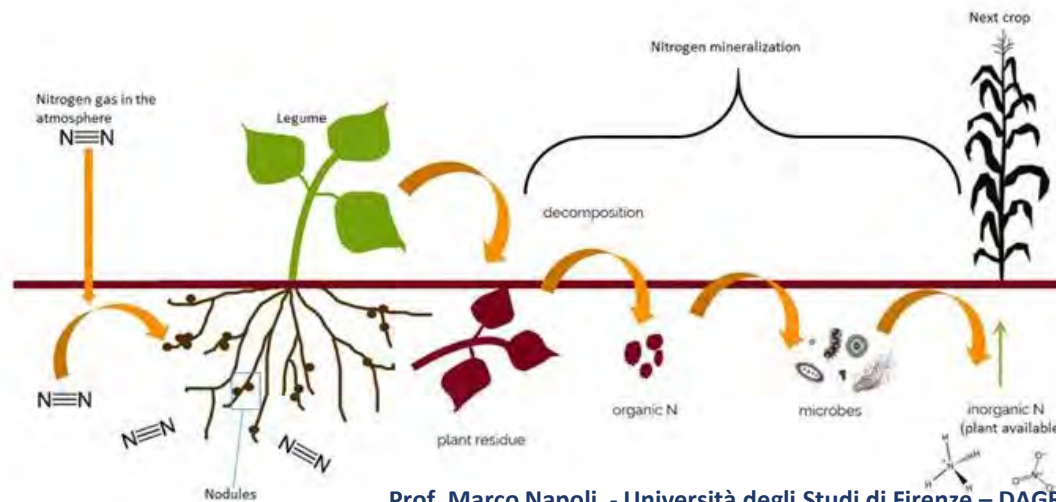


Fabbri, C., Mancini, M., dalla Marta, A., Orlandini, S., Napoli, M., 2020. Integrating satellite data with a Nitrogen Nutrition Curve for precision top-dress fertilization of durum wheat. *Eur. J. Agron.* 120, 126148 <https://doi.org/10.1016/j.eja.2020.126148>.

Prof. Marco Napoli - Università degli Studi di Firenze – DAGRI - marco.napoli@unifi.it

Residui di azoto dai legumi: con vs. senza incorporazione

Modalità	Descrizione	Effetto sull'azoto nel suolo	Effetto sulla coltura seguente
Con incorporazione (Sovescio)	Tutta la biomassa è interrata prima della fioritura	Rapido rilascio dell'azoto per mineralizzazione	→ alta disponibilità dell'azoto nel breve periodo
Senza incorporazione (Raccolta granello)	Gran parte della biomassa aerea è rimossa; Al suolo rimangono residui, radici	Mineralizzazione lenta; Miglioramento della fertilità a lungo termine del suolo	→ incremento limitato dell'azoto nel breve periodo



Nitrogen cycling with a legume green manure.
Figure from
<https://pivotandgrow.com/resources/green-manure-tool-kit/module-1-choosing-a-green-manure/>

Residui di azoto dai legumi: con vs. senza incorporazione

Specie	N fissato (kg ha ⁻¹)
Favino	120–200
Veccia	80–150
Pisello proteico	60–120
Trifoglio	100–250
Soia	150–300

Componente	Con incorporazione (Sovescio)	Senza incorporazione (Raccolta granella)
Biomassa aerea	60–150 kg ha ⁻¹	
Radici + noduli	15–70 kg ha ⁻¹	15–70 kg ha ⁻¹
Azoto restituito al suolo	75–200 kg ha ⁻¹	15–70 kg ha ⁻¹
Disponibilità azoto nel breve termine (% del N totale)	50–80% 15 – 150 kg ha⁻¹	15–40% 2 – 30 kg ha⁻¹

- Il sovescio migliora la fertilità del suolo e la disponibilità di azoto, ma la coltura in sé non produce una resa coltivabile.
- Nessun ritorno diretto sulla resa, solo benefici indiretti grazie al miglioramento della fertilità del suolo.
- I costi sono associati a: acquisto dei semi, semina, operazioni sul campo, incorporazione nel terreno.

Utilizzo dell'azoto in fava e favino (Vicia faba)

Key Findings (Richards & Soper, 1978)

- Le fave utilizzano preferibilmente azoto presente nel terreno o nei fertilizzanti piuttosto che la fissazione simbiotica di N_2 , quando disponibile.
- Efficienza di assorbimento dell'N paragonabile a quella dell'orzo nell'estrazione dell'azoto disponibile dal suolo.
- In condizioni di basso contenuto di N:
→ 87% dell'N della pianta derivato dalla fissazione simbiotica
- Aggiunta di fertilizzanti:
→ Riduzione della fissazione di N_2
→ Nessun aumento dell'azoto totale nei germogli.

Concept Summary

- **Bassa disponibilità N** → Simbiosi attiva (buona fissazione N).
- **Alta disponibilità N** → Simbiosi soppressa; viene usato N disponibile.
- ➔ Nell'intercropping questo comportamento può ridurre la quota di azoto fissato che ci si aspetta



Sovescio

Quando e Come terminare il sovescio

Pre-fioritura → rapida cessione nutrienti (es. N)

Post-fioritura → humificazione

Sfalciatura o uso di roller-crimper – scopo pacciamante

Trinciatura - interrare la biomassa vegetale ed incorporarla al terreno (uso di trinciatutto a martelli)

- Trinciatura
- Essiccamento
- Interramento superficiale (10-15 cm max)

Sovescio



<https://www.agricultura.it/>



<https://www.orticolturabio.it/>



<https://passioneinverde.edagricole.it/>



<https://terraevita.edagricole.it/>

Prof. Marco Napoli - Università degli Studi di Firenze – DAGRI - marco.napoli@unifi.it

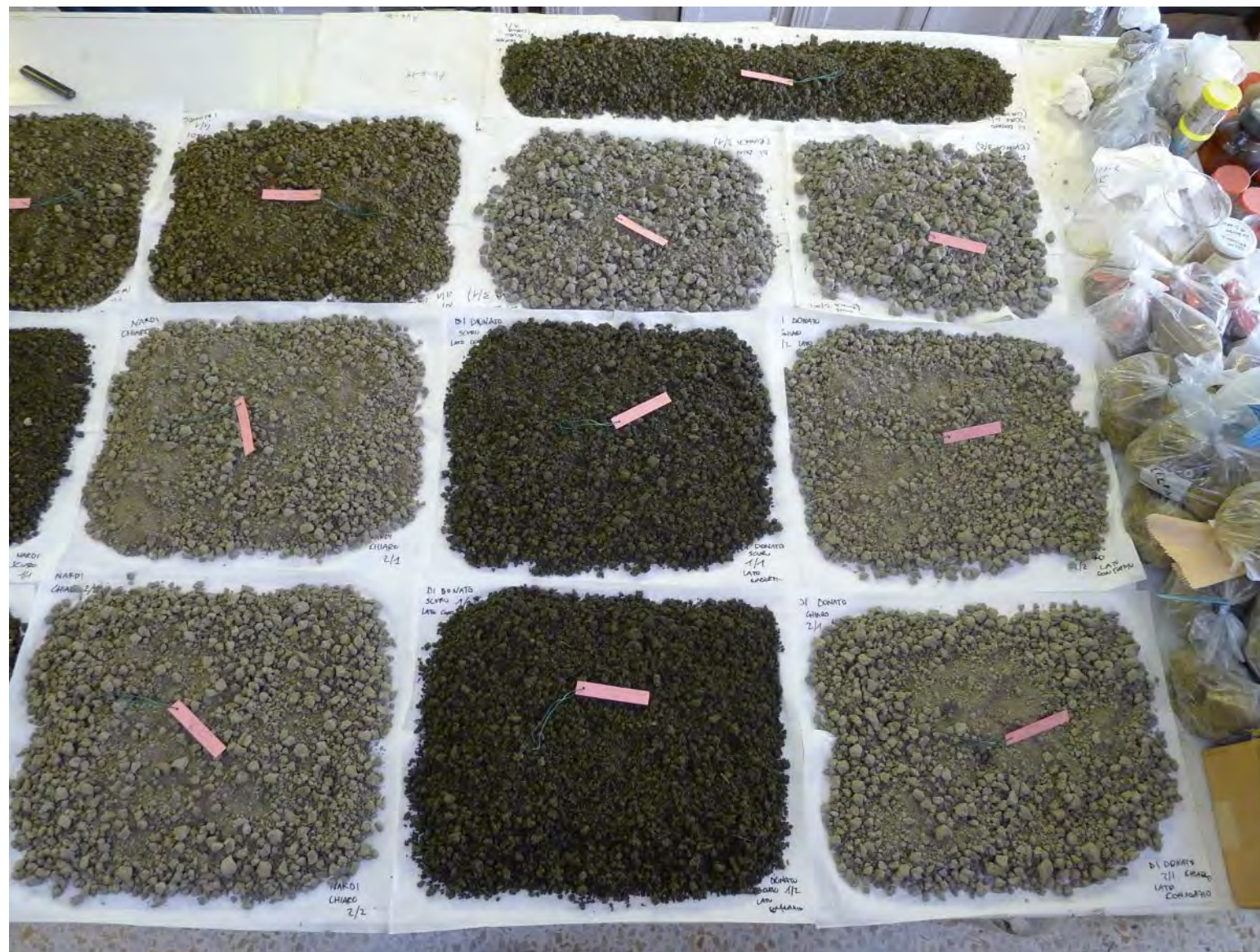


UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
FIRENZE
Da un secolo, oltre.

DAGRI
Dipartimento di
Scienze e Tecnologie Agrarie,
Alimentari, Ambientali e Forestali

SRG09 - Progetto AGRIP-RES - Azione B1 - CUP ARTEA :1250102
Tenuta di Alberese - 28 gennaio 2026





Campionamento

Scelta del numero di campioni

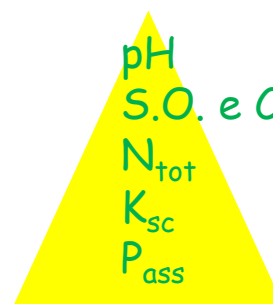
Deve essere sufficiente a contenere la variabilità intrinseca del terreno

$$E = \sqrt{\frac{1}{S}}$$

E: Errore

S: numero di subcampioni

La variabilità naturale varia a seconda delle caratteristiche che si considerano:



(< 1%)

(~ 10%)

(~ 20%)

(~ 30%)

(~ 40%)

da 10 a 30 per ettaro

Consiglio:

un campione elementare ogni 1000 m² per terreni elevata variabilità, riducibile del 30% circa per suoli più omogenei.

Superficie del campo	Numero di sottocampioni
1,0 - 1,5 ha	5
1,6 - 2,0 ha	6
2,1 - 2,5 ha	7
2,6 - 3,0 ha	8
3,1 - 3,5 ha	9
3,6 - 4,0 ha	10

Campionamento

Profondità di prelievo

Si devono sempre scartare i primi 5 cm superficiali.

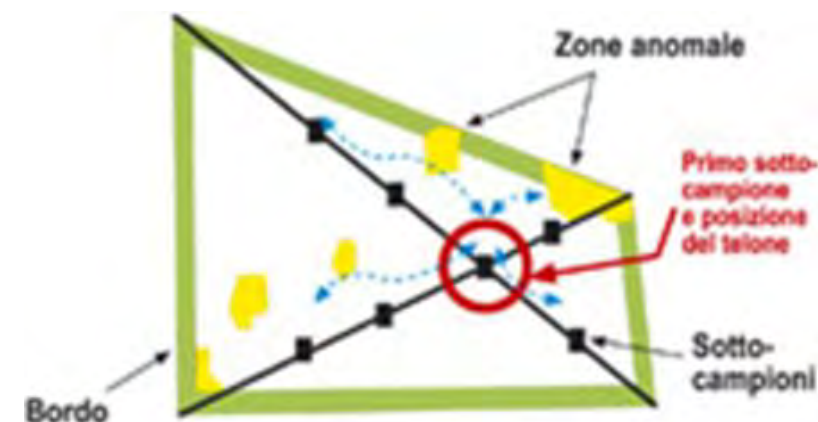
Quindi considerare il tipo di coltura in atto e le lavorazioni che vengono eseguite;

ES:	prato stabile, prato di graminacee	5-15 cm
	prato di leguminose	30-50 cm
	colture arative	profondità di aratura
	colture arboree	20-60 cm

Epoca prelievo

Per evitare l'influenza della fertilizzazione sui risultati analitici è necessario far passare almeno tre mesi dall'ultima concimazione prima di eseguire il prelievo, per cui risulta di maggior praticità il campionamento dopo la raccolta dei prodotti.

Soil parameters mapping



Grazie per l'attenzione

