



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI MILANO  
FACOLTÀ DI AGRARIA

## Indicatori dell'azoto

*Lodovico Alfieri*

# Ruolo dell'agricoltura

E' sempre maggiore la richiesta di un'agricoltura "sostenibile"

Si concretizza nel raggiungimento di tre obiettivi:

- **Ecologico** - promozione delle buone pratiche a tutela ambientale e creazione di servizi per la conservazione degli habitat, della biodiversità e del paesaggio;
- **Economico** - aumentare la redditività e la competitività del settore agricolo;
- **Sociale** - fornire alle zone rurali possibilità di sviluppo economico e di miglioramento delle condizioni di vita.



# Ruolo dell'agricoltura

---

Aumento dello studio e conoscenza degli impatti ambientali dell'attività agricola con coinvolgimento di:

Consumatori

Cittadini

Politici

Agricoltori

Valutazione della sostenibilità dell'agricoltura



# Strumenti di analisi

---

Classificabili in funzione della scala di applicazione e del dettaglio che si intende raggiungere in funzione della disponibilità di informazioni.

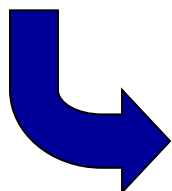
Si distinguono:

- Indicatori agro-ecologici;
- Modelli di simulazione;
- Misure dirette (es. prove sperimentali di campo)



# Strumenti di analisi - Indicatori agroecologici

## INDICATORI AGROECOLOGICI



Variabili sintetiche basate su informazioni relativamente semplici e di facile reperimento che rappresentano sistemi colturali e aziendali e che permettono di:

- Valutare le performance di un sistema produttivo agricolo
- Fornire confronti relativi tra sistemi nello spazio e nel tempo



# Indicatori agroecologici - caratteristiche

---

Principali caratteristiche degli indicatori.

Devono essere:

- ricavabili da informazioni facilmente ottenibili,
- semplici, comprensibili e di univoca interpretazione,
- concentrati sugli aspetti più rilevanti della realtà in esame,
- confrontabili e riproponibili nel tempo e nello spazio,
- ricavabili in modo uniforme in diverse realtà.



# Strumenti di analisi - Indicatori agroecologici

Indicatori di emissioni atmosferiche di :

- Ammoniaca ( $\text{NH}_3$ )
- Protossido d'azoto ( $\text{N}_2\text{O}$ )
- Anidride carbonica ( $\text{CO}_2$ )
- Metano ( $\text{CH}_4$ )

Indicatori di nutrienti relativi a:

- Carico medio di azoto organico
- Apporto per ettaro di azoto minerale (N)
- Apporto per ettaro di anidride fosforica ( $\text{P}_2\text{O}_5$ )

Indicatori ambientali:

- IPNOA
- Paesaggistico
- Odori, impatto visivo, fruibilità dell'area e cittadinanza

Bilanci dell'azoto a livello aziendale e colturale (indici di efficienza).



# Strumenti di analisi - Indicatori

## Vantaggi:

- Basati su informazioni relativamente semplici e facilmente reperibili;
- Risultati di facile interpretazione e comunicazione;
- Applicabili a diverse scale nello spazio e nel tempo;
- Utili per fare uno screening iniziale.

## Svantaggi:

- Informazione sul rischio potenziale, ma non sull'effettivo problema ambientale dovuto all'attività agricola. Evidenza delle criticità.





# Strumenti di analisi - modelli

---

Programmi in grado di riprodurre il comportamento di un sistema complesso in modo semplificato che permettono di:

- conoscere il sistema in modo compiuto,
- comprendere le cause dei singoli eventi,
- valutare a priori ipotesi di interventi e loro impatti conseguenti.

Basati su equazioni matematiche che descrivono i fenomeni naturali (fisici, chimici e biologici).

Possono essere applicati a diverse scale: campo, azienda e territorio.



# Strumenti di analisi - modelli

## Vantaggi:

- utili per spiegare il fenomeno con maggiore dettaglio;
- precisi se ben utilizzati;
- applicabili a diverse scale nello spazio e nel tempo;
- utili per fare una valutazione dettagliata delle criticità.

## Svantaggi:

- necessità di maggiori e dettagliati input;
- maggiore conoscenza del sistema in analisi;
- tempi lunghi e maggiori difficoltà di realizzazione a cui vengono in aiuto strumenti per l'analisi della validità dei risultati.



# Strumenti di analisi - Misure dirette

---

Studio di un fenomeno o processo attraverso la pianificazione (a tavolino) e realizzazione di un esperimento.

Vantaggi:

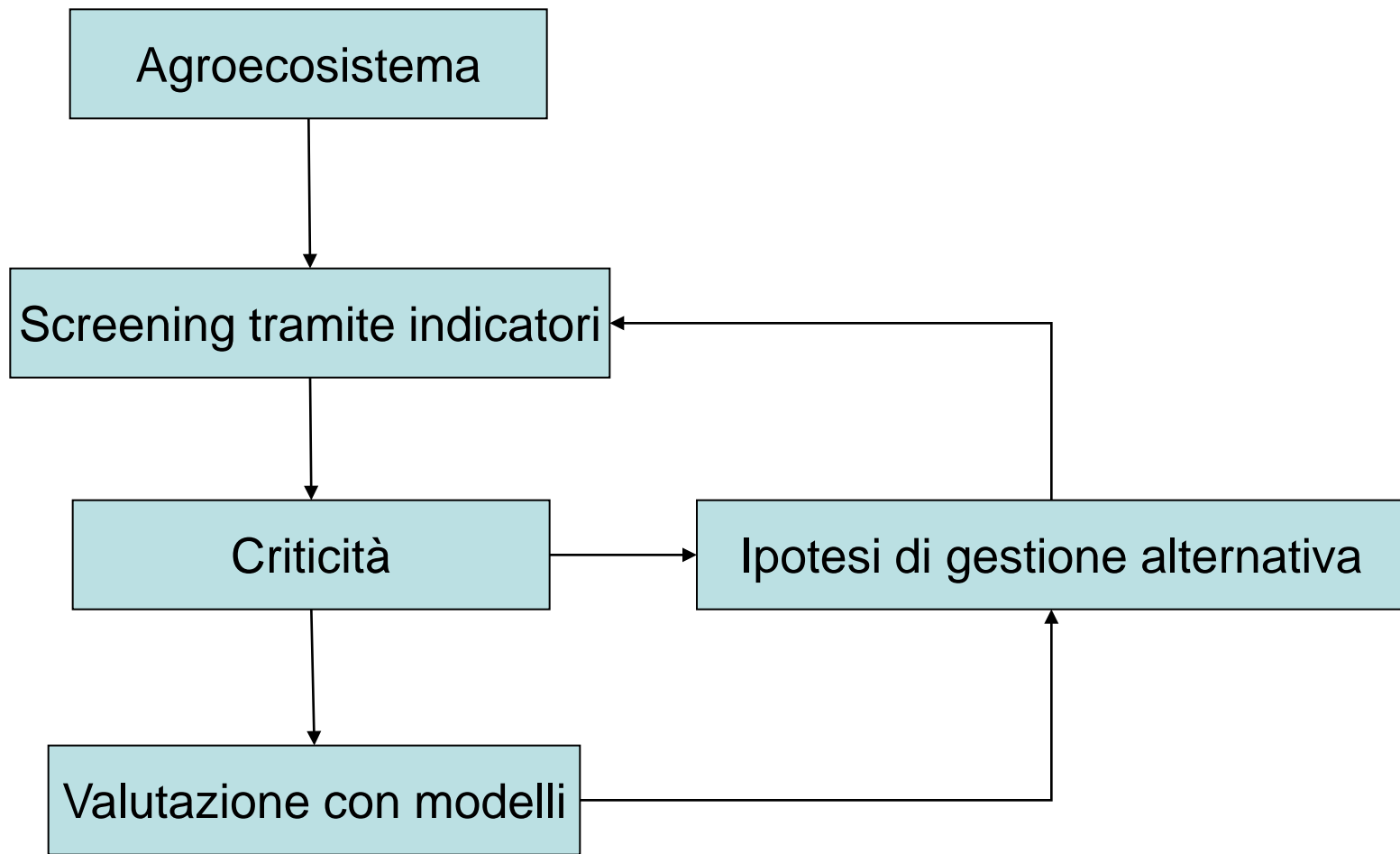
- alta precisione e attendibilità se i dati sono ben raccolti.

Svantaggi:

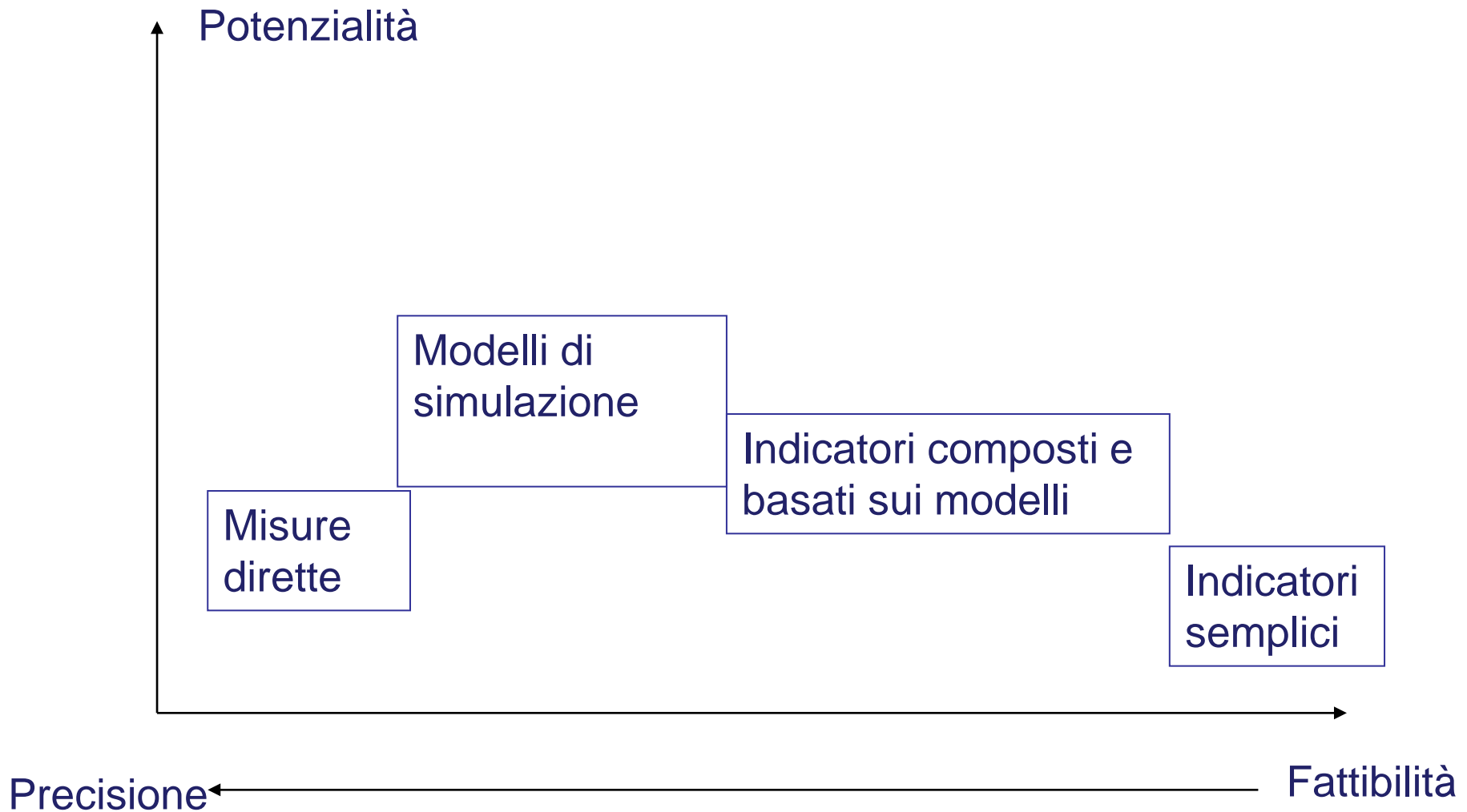
- difficoltà metodologiche (complessità sistema e difficoltà nella misura di alcune variabili).
- richiedono tempo e molto costosi
- scala spaziale ristretta.



# Possono essere usati insieme?



# Strumenti di analisi - Confronto



# Indicatori ambientali - IPNOA

L'IPNOA, indice di pericolosità da nitrati di origine agricola, è una metodologia per la valutazione del pericolo di inquinamento delle acque sotterranee da nitrati di origine agricola (Padovani e Trevisan, 2002).

Approccio di tipo parametrico che consiste principalmente in due fasi:

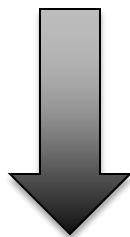
1. vengono individuate le categorie di fattori che concorrono alla valutazione del pericolo potenziale di contaminazione delle acque sotterranee;
2. a ciascun fattore viene attribuito un punteggio in funzione dell'importanza che esso assume nella valutazione complessiva finale.



# Indicatori ambientali - IPNOA

I fattori sono suddivisi in:

- fattori di pericolo (FP) che rappresentano tutte le attività agricole che generano o possono generare inquinamento da nitrati nelle acque sotterranee;
- fattori di controllo (FC) che modificano il pericolo in funzione delle caratteristiche del sito.



Come?



# Indicatori ambientali - IPNOA

1

Mediante i fattori di pericolo viene stimata la quantità di azoto applicata sulla superficie agraria che, a seconda del contenuto naturale di azoto del terreno, delle caratteristiche climatiche del sito e delle pratiche agronomiche adottate (fattori di controllo), può rappresentare, in diversa misura, un pericolo per la qualità delle acque sotterranee.

2

I fattori considerati vengono classificati attribuendo a ciascuna classe un indice che caratterizza il carico di azoto (nel caso degli FP) o l'incidenza (positiva o negativa o neutra) dei fattori coinvolti nel fenomeno di dilavamento dei nitrati (FC).





# Fattori di pericolo

I fattori di pericolo (FP) sono:

$FP_{fm}$  = fertilizzanti minerali,

$FP_{fo}$  = fertilizzanti organici,

$FP_{fd}$  = fanghi di depurazione.

Ad ogni FP viene assegnata una classe di pericolo da 1 a 5  
(1 improbabile, 5 elevato)  
in base alla quantità distribuita sui terreni coltivati (kg di N  
 $ha^{-1}$ ).



# Fattori di controllo

I fattori di controllo (FC) sono:

$Fc_a$  = contenuto di azoto nel suolo,

$Fc_c$  = clima cioè precipitazioni e temperatura medie annue,

$Fc_{pa}$  = pratiche agricole,

$Fc_i$  = irrigazione.

Ad ogni FC viene assegnato un peso generalmente  
variabile

$$0,94 \leq FC \leq 1,10$$



# Come si calcola

La stima del pericolo potenziale di inquinamento da nitrati di origine agricola si ottiene dal prodotto tra la somma dei fattori di controllo e il prodotto dei fattori di pericolo.

$$\text{IPNOA} = (\text{FP}_{\text{fm}} + \text{FP}_{\text{fo}} + \text{FP}_{\text{fd}}) \times (\text{FC}_{\text{a}} \times \text{FC}_{\text{c}} \times \text{FC}_{\text{pa}} \times \text{FC}_{\text{i}})$$



# Fattori di pericolo: *Fertilizzanti minerali (FPfm)*

Carichi di azoto da fertilizzanti minerali e relative classi di pericolo

<b>APPORTO DI N (Kg/ha)</b>	<b>CLASSE DI PERICOLO (FPfm)</b>
0	1
1-25	2
26-100	3
100-180	4
> 180	5



# Fattori di pericolo: *Fertilizzanti organici (Fpfo)*

Carichi di azoto da fertilizzanti organici e relative classi di pericolo.

<b>APPORTO DI N (Kg/ha)</b>	<b>CLASSE DI PERICOLO (FPfo)</b>
0	1
1-150	2
151-300	3
300-500	4
> 500	5



# Fattori di pericolo: *Fanghi di depurazione (FPfd)*

Carichi di azoto da fanghi di depurazione e relative classi di pericolo.

<b>APPORTO DI N (Kg/ha)</b>	<b>CLASSE DI PERICOLO (FPfd)</b>
0	1
1-150	2
151-500	3
500-1500	4
> 1500	5



# Fattori di controllo: *Contenuto di azoto (FCa)*

Fattore di controllo “contenuto di azoto nel suolo” (FCa) e valori per il calcolo degli IPNOA.

Contenuto di azoto (%)	Classificazione suoli	Punteggio IPNOA (FCa)
> 0,5	Eccessivamente dotati	1.04
0,22 – 0,5	Ricchi	1.02
0,15 – 0,22	Ben dotati	1
0,1 – 0,15	Mediamente dotati	0.98
< 0,1	Poveri	0.96



# Fattori di controllo: *Clima (FCc)*

Fattore di controllo “clima” (FCc) e valori per il calcolo degli IPNOA.

Precipitazioni (mm/anno)	Temperatura media (° C)	Punteggio IPNOA (FCc)
> 1200	0-30	1.10
1100-1200	0-30	1.08
1000-1100	< 13.5	1.08
	> 13.5	1.06
900-1000	< 13.5	1.04
	> 13.5	1.02
800-900	< 13.5	1.04
	13.5-16	1.02
	> 16	0.98
700-800	< 14	1
	14-16	1.02
	> 16	0.98
600-700	< 13	1
	13-14.5	0.96
	14.5-16	1.02
	> 16	0.98
< 600	0-30	0.94





# Fattori di controllo: *Pratiche agricole (FCpa)*

Fattore di controllo “pratiche agronomiche” (FCpa) e valori per il calcolo degli IPNOA.

Tipo di lavorazione	Modalità di concimazione	Punteggio IPNOA (FCpa)
Tradizionale	Fertirrigazione	1.04
	Distribuzione su tutta la superficie	1
	Interrata	0.98
	Via fogliare	0.96
	No fertilizzazione	0.94
Minima	Fertirrigazione	1.02
	Distribuzione su tutta la superficie	0.98
	Interrata	0.96
	Via fogliare	0.94
	No fertilizzazione	0.94
Non lavorazione	Fertirrigazione	1
	Distribuzione su tutta la superficie	0.98
	Interrata	0.94
	Via fogliare	0.94
	No fertilizzazione	0.94



# Fattori di controllo: *Irrigazione (Fci)*

Fattore di controllo “irrigazione” (FCi) e valori per il calcolo degli IPNOA.

Sistema di irrigazione	Punteggio IPNOA (FCi)
Sommersione	1,06
Scorrimento	1,04
Aspersione	1,02
No irrigazione	1,00



# Indici di pericolosità

$$\text{VALORE IPNOA} = (FP_{fm} + FP_{fo} + FP_{fd}) \times (FC_a \times FC_c \times FC_{pa} \times FC_i)$$

Indice di **P**ericolosità da **N**itrati di **O**rigine **A**gricola e relative giudizi.

VALORE IPNOA	CLASSE	PERICOLO POTENZIALE
2,54 – 3,18	1	IMPROBABILE
3,19 – 5,88	2	MOLTO BASSO
5,89 – 7,42	3	BASSO
7,43 – 9,31	4	MODERATO
9,32 – 11,10	5	ALTO
11,11 – 17,66	6	ELEVATO



# Bibliografia

Padovani L., Trevisan, M., 2002 - I nitrati di origine agricola nelle acque sotterranee. Un indice parametrico per l'individuazione di aree vulnerabili. Pitagora Ed., Bologna, pp. 120.

E. Capri, M. Civita, A. Corniello, G. Cusimano, M. De Maio, D. Ducci, G. Fait, Fiorucci A., S. Hauser, A. Pisciotta, G. Pranzini, M. Trevisan, A. Delgado Huertas, F. Ferrari, R. Frullini, B. Nisi, M. Offi, O. Vaselli, M. Vassallo, (2009). **Assessment of nitrate contamination risk: the Italian experience**, Journal Of Geochemical Exploration, pp. 16, 2009, Vol. 102, pagine da 71 a 86.

<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0375674209000326>



# Per esercitazione

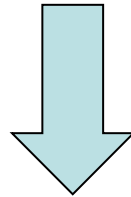
In base ai dati della tabella calcolare l'indice IPNOA

DESCRIZIONE	U.M.	DATI
Superficie totale azienda	ha	100
Fertilizzanti Minerali	Kg N	15,000
Fertilizzanti Organici	Kg N	20,000
Fanghi di depurazione	Kg N	0
Contenuto di azoto nel suolo	%	0.22
Temperatura media annua	C°	12
Piovosità media	mm	850
Pratiche agricole		Tradizionale / fertirrigazione
Irrigazione		scorrimento



# Bilanci dell'azoto

Valutare la gestione dell'azoto di una realtà a diversa scala



Capire come l'attività agricola inserita in un determinato contesto può determinare l'alterazione del ciclo dell'azoto

- **FARM GATE BALANCE**
- **SOIL SURFACE BALANCE**

**Il bilancio di un nutriente è un indicatore di *performance* della gestione e della politica ambientale di una realtà aziendale. Viene espresso come differenza tra la quantità di nutriente che entra e la quantità che lascia un determinato sistema (azienda o appezzamento) in un dato momento.**

# Farm-gate balance

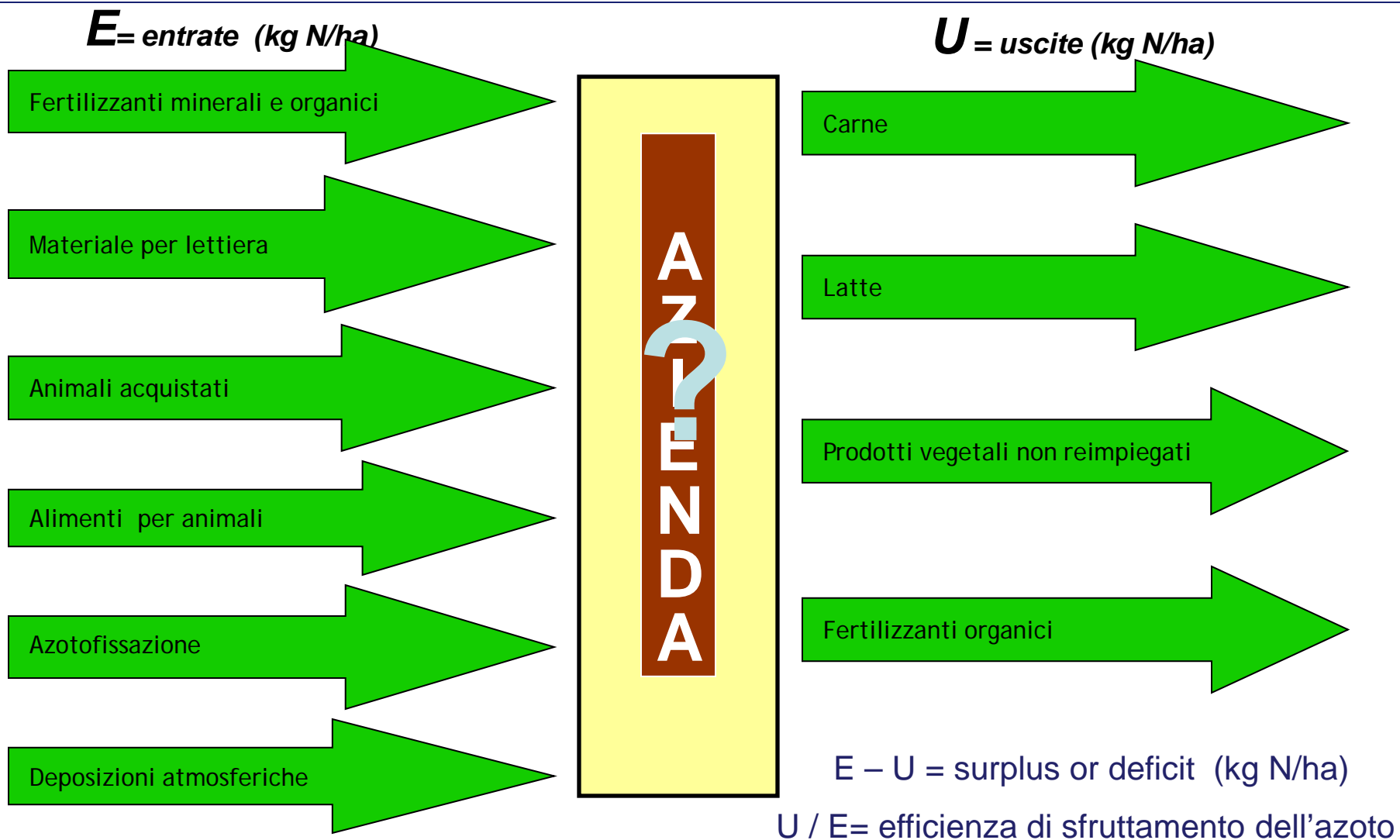
---

## Livello aziendale

Si confrontano i flussi di elemento nutritivo apportato dall'esterno sottoforma di fattori di produzione acquistati (concimi minerali, mangimi, concentrati, animali di allevamento..) con quelli dell'elemento nutritivo asportati con i prodotti venduti all'esterno (latte, carne, uova, cereali..).



# Farm-gate balance





# Farm-gate balance

$E - U > 0$  surplus di azoto

Eccedenza di azoto: potenziali perdite (atmosfera, acqua) e/o accumuli nel sistema (suolo, stalla, magazzino aziendale)

$E - U < 0$  deficit di azoto

Carenza di azoto: potenziale impatto sulla produttività

$U/E \rightarrow 0$  bassa efficienza di sfruttamento dell'azoto

$U/E \rightarrow 1$  alta efficienza di sfruttamento dell'azoto



# Farm-gate balance

---

## Come si costruisce

Sono richieste informazioni facilmente reperibili in azienda tramite delle interviste con gli agricoltori o mediante statistiche ufficiali dell'agricoltura.

A questi sono associati coefficienti di conversione, reperiti dalla bibliografia, per trasformare tali informazioni in flussi equivalenti di azoto.



# Farm-gate balance (entrate)

Tipologia di flusso	Flusso in entrata o in uscita - Quantità acquistata o venduta (t all'anno)	Concentrazione in azoto del flusso (kg N/t)	Azoto totale Moltiplicazione del flusso per la sua concentrazione (kg N)
<b>Entrate</b>	A	B	$C = A \times B$
<b>Concimi minerali</b>	(si ricava dalla fatture di acquisto)	(si ricava dal titolo in azoto del concime minerale)	
<b>Concimi organici</b>	(si ricava dalla fatture di acquisto)	(si ricava dalle analisi chimiche del refluo)	
<b>Animali</b>	(si ricava dalle fatture di acquisto o moltiplicando il numero degli animali per il peso vivo)	(dato bibliografico: 2,4 di azoto su peso fresco dell'animale)	
<b>Alimenti animali Lettiera per animali</b>	(si ricava dalla fatture di acquisto)	(si ricava dividendo il dato di proteina grezza fornito dal cartellino per 6.25) (si ricava da valori bibliografici)	
<b>Azotofissazione</b>	Solo se presente una coltura leguminosa (si considerano fino a 200 kg N/ha nel caso di erba medica e soia e 40 kgN/ha per prato trifoglio + graminacee e per prato stabile) <b>(valore da aggiungere direttamente alla voce entrate-uscite / ha)</b>		
<b>Deposizioni atmosferiche</b>	Tale valore espresso in kg N/ha può essere considerato pari a <b>30 (valore da aggiungere direttamente alla voce entrate-uscite / ha)</b>		
<b>SOMMA ENTRATE</b>			



# Farm-gate balance (Uscite e % efficienza)

Tipologia di flusso	Flusso in entrata o in uscita - Quantità acquistata o venduta (t all'anno)	Concentrazione in azoto del flusso (kg N/t)	Azoto totale Moltiplicazione del flusso per la sua concentrazione (kg N)
<b>Uscite</b>	A	B	$C = A \times B$
<b>Carne (animali venduti)</b>	(si ricava dalle fatture di vendita o moltiplicando il numero degli animali per il peso vivo)	(dato bibliografico: 2,4 di azoto su peso vivo dell'animale)	
<b>Latte</b>	(si ricava dalle fatture di vendita)	(si calcola dividendo il contenuto di proteina fornito dalle analisi chimiche per 6.25.	
<b>Prodotti vegetali</b>	(si ricava dalle fatture di vendita)	(si ricava dalle analisi chimiche o da valori bibliografici relativi a ciascuna coltura)	
<b>Concimi organici</b>	(si ricava dalle fatture di vendita)	(si ricava dalle analisi chimiche del refluo)	
SOMMA USCITE			
<b>entrate-uscite</b>	Si calcola come differenza tra i kg N in entrata e kg N in uscita		
<b>entrate-uscite / ha</b>	Si calcola dividendo la differenza in kg N per gli ettari di S.A.U.		
<b>Uscite /entrate (indice efficienza)</b>	Si calcola come rapporto tra i kg N in entrata e kg N in uscita		



# Farm-gate balance

## Indici di efficienza

Aziende zootecniche: 24-29% (Simon et al., 2000 – Grignani et al., 1996)

Azienda cerealicola: 70% (Simon et al., 2000)

<b>Indirizzo produttivo</b>	<b>Note</b>	<b>Efficienza dell'azoto (U/E) (%)</b>
Azienda Zootecnica	Utilizzo di reflui prodotti internamente	<b>22</b>
Azienda Zootecnica	Utilizzo anche di reflui provenienti dall'esterno	<b>18</b>
Azienda Cerealicola	Utilizzo di fanghi di depurazione	<b>51</b>
Azienda Cerealicola	Utilizzo solo di fertilizzante minerale	<b>78</b>



# Soil surface balance

---

## Livello colturale

Il bilancio colturale, impostato a scala di appezzamento o per singole U.P.A. (Unità di Paesaggio Aziendale), permette di quantificare, attraverso il calcolo di un surplus, il rischio di perdite di azoto per effettivo allontanamento dal sistema suolo-pianta.

Per U.P.A. si intende il raggruppamento di più appezzamenti omogenei per tipo di coltura – agrotecnica associata e per tipologia di suolo.

Il bilancio colturale dell'azoto è utile per evidenziare le situazioni di criticità in riferimento al tipo di coltura presente e all'agrotecnica associata.



# Soil surface balance

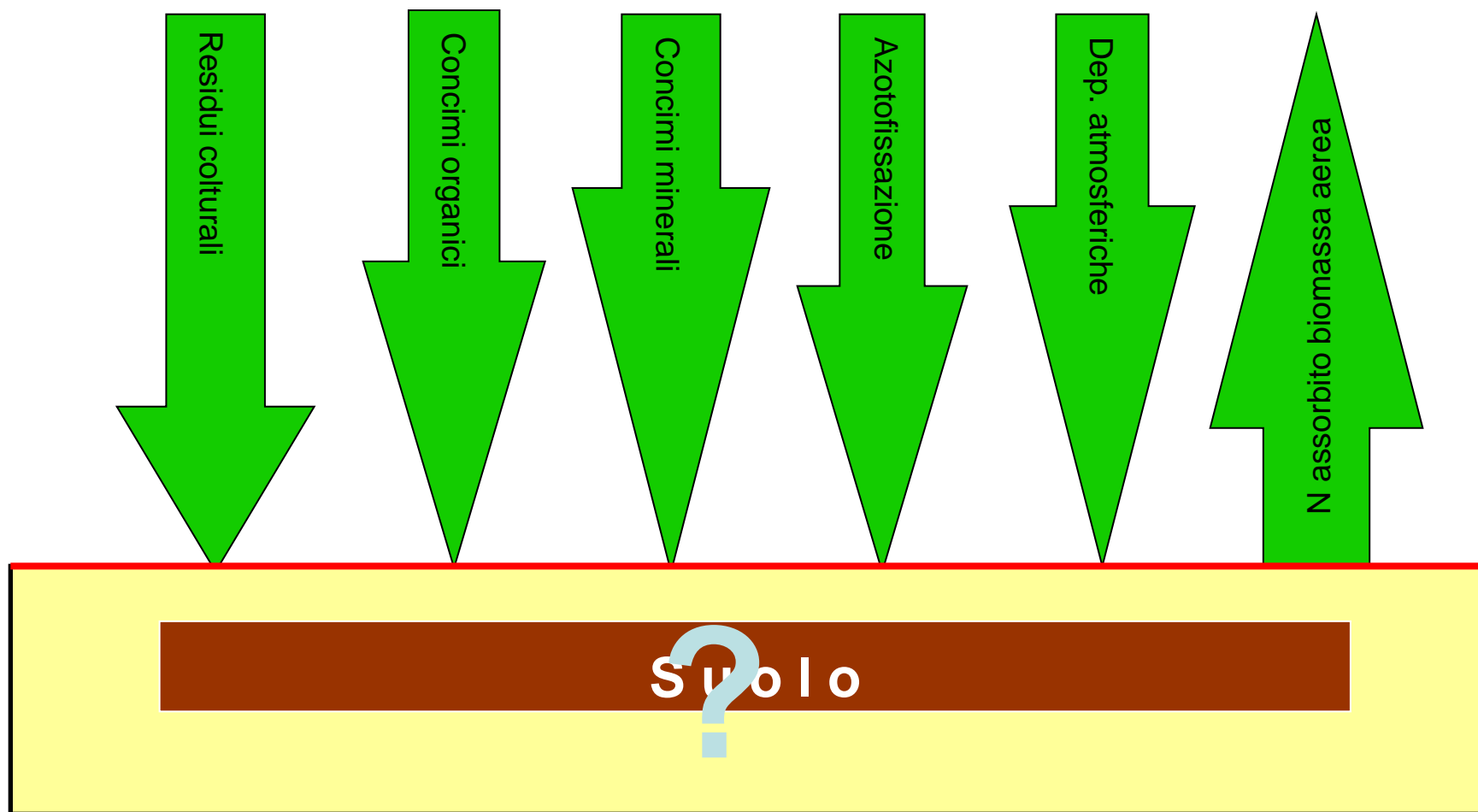
Il bilancio consiste nel valutare l'azoto che entra attraverso la superficie del suolo e ne esce poiché assorbito dalle colture.

L'approccio prevede la differenza tra:

- i flussi di azoto che entrano verso la superficie mediante le concimazioni organiche (al netto della volatilizzazione di ammoniaca), le concimazioni minerali, i residui della coltura in precessione, l'azotofissazione, le deposizione atmosferiche e le irrigazioni e
- i flussi di azoto in uscita dal terreno (asportazioni colturali).



# Soil surface balance



$E - U = \text{surplus o deficit (kg N/ha)}$



# Soil surface balance

$E - U > 0$  surplus di azoto

Perdite nell'ambiente (lisciviazione di nitrati, volatilizzazione di ammoniaca, denitrificazione)

Stoccaggio in forma inorganica o organica nel terreno.

$E - U < 0$  deficit di azoto

Carenza di azoto per la pianta: potenziale impatto sulla produttività



# Soil surface balance

---

## Come si costruisce

Informazioni raccolte presso gli agricoltori o da statistiche della agricoltura sulle agrotecniche.

- Fertilizzazione organica e minerale;
- Rese colturali (Harvest Index);
- Tipo di coltura precedente;

Coefficienti di conversione reperiti dalla bibliografia (contenuti % di azoto nei materiali coinvolti nel calcolo)



# Per esercitazione

Azienda di bovini da latte

## **Comparto colturale**

65 ha di SAU;

20 ha di frumento da granella:

produzione media totale (t/ha) = 6.5;

HI = 0.55:

Concimazione minerale = 250 kg/ha di nitrato di ammonio (27% di N)

Paglia interrata, granella venduta

45 ha di mais da granella:

produzione media totale (t/ha) = 11.5;

HI = 0.50:

Concimazione minerale = 300 kg/ha di urea (46% di N)

Concimazione organica = 70 t/ha di liquame bovino prodotto in azienda (0.35% di N)

Granella riutilizzata in azienda, stocchi interrati

Rotazione adottata = mais-frumento



# Per esercitazione

## Comparto zootecnico

### Prodotti acquistati:

- 25 t di erba medica;
- 35 t di mangime per manze (% proteine grezze da cartellino = 16);
- 70 t di nucleo per vacche (% proteine grezze da cartellino = 31);
- 5 t di latte in polvere;
- 700 t di mais insilato;
- 35 t fieno di loiessa;
- 55 t di segatura;

### Prodotti venduti:

- 500 t di latte;
- 10 vacche di fine carriera (650 kg cadauna);
- 10 vitelli di 30 giorni di vita (60 kg cadauno);

Calcolare farm gate balance e soil surface balance per il mais da granella



# Domande

- 1) Quali sono le principali caratteristiche degli indicatori?
- 2) È maggiore il potenziale informativo di un indicatore o di un modello?
- 3) Indice IPNOA: struttura di calcolo e scopi informativi.
- 4) Cosa analizza il Farm Gate Balance e quali risultati produce?
- 5) Qual' è il valore del parametro di conversione da proteina grezza a quantità di azoto?
- 6) Qual è il range di valori approssimati in kg /ha dell'azoto prodotto dalla fissazione delle leguminose, input del Soil Surface Balance?
- 7) Cosa è l'azoto al campo? È al netto o al lordo delle volatilizzazioni ammoniacali durante le fasi di produzione dei reflui zootecnici?

