



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI MILANO
FACOLTÀ DI AGRARIA

Inquinamento da N

Lodovico Alfieri

Considerazioni preliminari

L'inquinamento da azoto reattivo, risultato della trasformazione dell'azoto atmosferico in ossidi di azoto e ammoniaca, viene considerato come la terza minaccia in ordine di gravità per il nostro pianeta dopo la perdita di biodiversità e il "climate change" (Giles J. 2005)

In Lombardia sono concentrati oltre il 25% del patrimonio bovino nazionale e circa il 50% dei capi suini allevati (ISTAT, 2007). Il comparto bovino contribuisce per circa due terzi del totale alla produzione di azoto mentre gli allevamenti suini coprono circa il 26% del totale.

La concentrazione degli allevamenti soprattutto nelle provincie di Brescia, Bergamo, Cremona e Mantova contribuisce inoltre a creare situazioni di esuberanza dei carichi di azoto con conseguenti rischi di impatto ambientale. La Lombardia rappresenta quindi un importantissimo "case study" per la gestione dell'N reattivo, che è una delle più importanti sfide dell'umanità.



Ruolo dell'azoto

L'azoto è l'elemento più abbondante nella nostra atmosfera (78%) ed è presente per natura in varie forme, nell'aria, nel suolo, nell'acqua e in tutti gli esseri viventi.

- Costituente di numerosi composti biologici (proteine, amminoacidi, nucleotidi, coenzimi...)
- Partecipa a numerosi processi metabolici



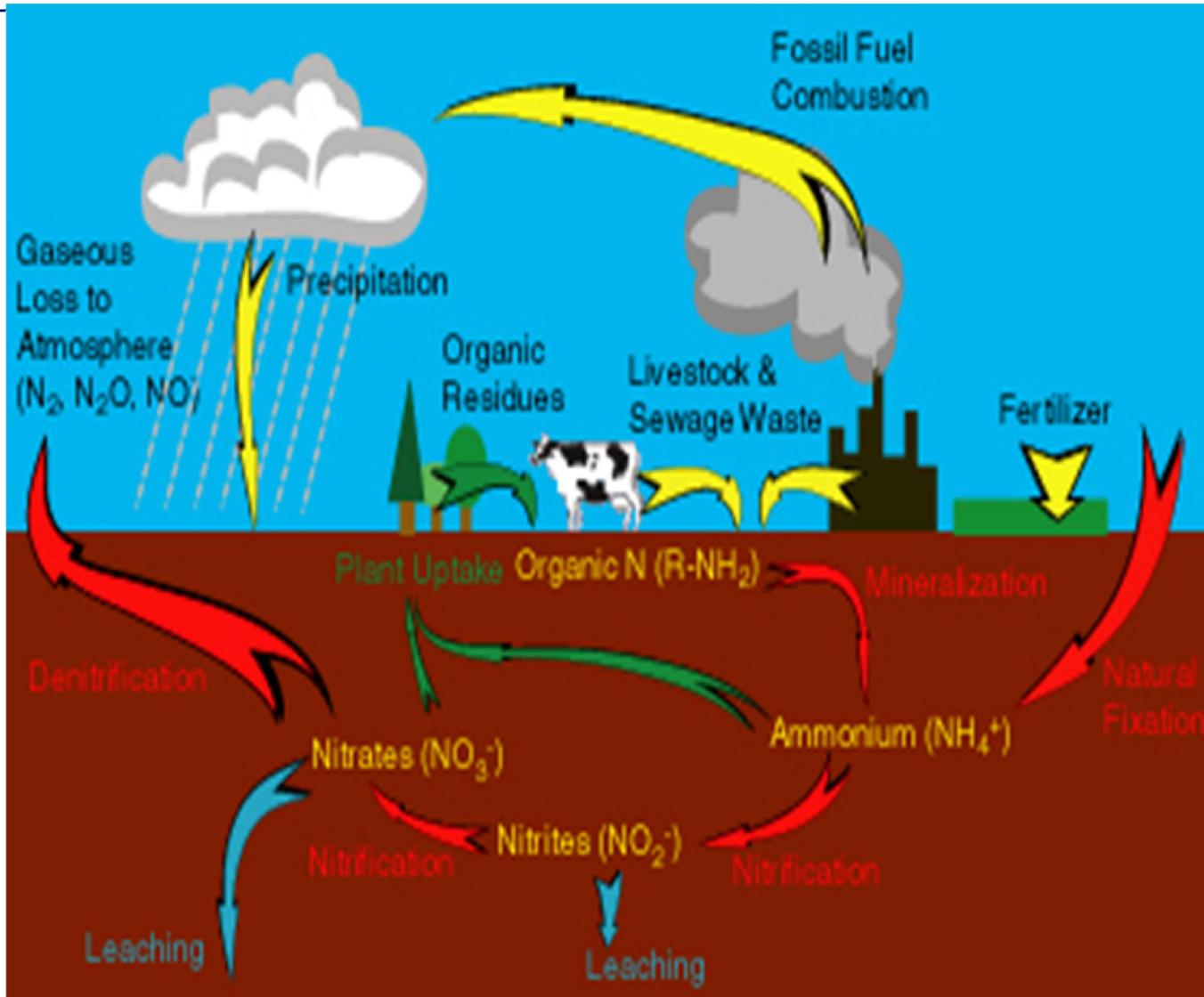
Il ciclo dell'azoto

L'azoto è presente in differenti forme:

- Azoto molecolare (N_2)
- Ossidi di azoto (NO e NO_2)
- Azoto organico
- Azoto minerale ($N-NH_4^+$ e $N-NO_3^-$)



Il ciclo dell'azoto



Processi naturali

Forze fisiche

Trasformazioni microbiche

Intervento umano



Il ciclo dell'azoto

Si possono riconoscere tre sottocicli:

Sottociclo elementare (comparto atmosfera)

(**Fissazione biologica** di N atmosferico e ritorno in atmosfera in forme gassose N_2O , NO_2 , NH_3)

Sottociclo eterotrofico (comparto suolo)

(attività microbica che determina i processi di **mineralizzazione** e immobilizzazione e le trasformazioni da una forma chimica all'altra)

Sottociclo autotrofico (comparto pianta)

(attività delle piante superiori, organizzazione dell'azoto assorbito)

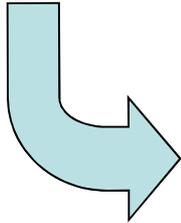


Il ciclo dell'azoto

Fissazione biologica

N_2 non può essere direttamente utilizzato dai sistemi biologici per realizzare i composti chimici necessari a crescita e riproduzione.

Processo di fissazione biologica



Trasformazione dell'azoto elementare in ammoniaca (riduzione), poi convertito in azoto organico

Elevata richiesta di energia di attivazione

Operata da:

- Fulmini (alta temperatura) (ovviamente non biologica!)
- Micro-organismi (energia da ossidazione dei carboidrati)

Il ciclo dell'azoto

Fissazione biologica

- **Simbiontica:**

L'azoto atmosferico viene fissato da micro organismi che vivono in simbiosi con le piante superiori (leguminose) *Rhizobium* (noduli radicali e sistema enzimatico nitrogenasi come catalizzatore)

- **Non Simbiontica:**

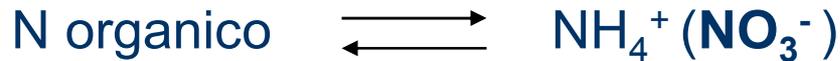
L'azoto atmosferico viene fissato da micro organismi liberi nel terreno (*Azotobacter*, *Clostridium*, *Cyanobacteria*)

Grande importanza del punto di vista agronomico della fissazione simbiontica (da 50 a 200kg N/ha)



Il ciclo dell'azoto

Mineralizzazione e immobilizzazione



Viene regolata la concentrazione di azoto in forma organica e minerale presente nel terreno

MIT
(mineralization – immobilization turnover)

Fattori che influenzano il processo:

- Rapporto C/N della sostanza organica;
- Temperatura;
- pH;
- Contenuto idrico.



Il ciclo dell'azoto

Nitrificazione e denitrificazione

Nitrificazione



ossidazione biologica degli ioni ammonio ad ioni nitrato

Processo di tipo aerobico, condotto da *Nitrosomonas* e *Nitrobacter*.

La nitrificazione può avvenire esclusivamente in ambienti ricchi di ossigeno e in funzione di altri fattori (NH_4^+ , T (25° - 32°), pH (7-9), contenuto idrico vicino alla capacità di campo ...)

La nitrificazione porta ad importanti conseguenze ambientali.



Il ciclo dell'azoto

Nitrificazione e denitrificazione

Denitrificazione



Riduzione biologica degli ioni nitrato ad azoto molecolare

Processo di tipo anaerobico, condotto da *Bacillus denitrificans*,
Micrococcus denitrificans

La denitrificazione può avvenire esclusivamente in condizioni anaerobiche, in presenza di sostanza organica come fonte di carbonio, T (25° -32°), pH intorno a 8.

La denitrificazione porta ad importanti conseguenze ambientali.



Il ciclo dell'azoto

Assimilazione dell'azoto

L'azoto nella forma inorganica (ammonio e nitrato) assorbito dalla pianta viene trasformato in proteine (forma organica).



Il processo dipende dalla disponibilità di NO_3^- e NH_4^+ disponibili nel suolo.

I residui colturali che vengono poi lasciati sul terreno (interramento), come la pratica del sovescio di una coltura vanno ad influenzare i processi di mineralizzazione e immobilizzazione e quindi la disponibilità di azoto nel suolo (fame di azoto con $\text{C/N} > 30$).

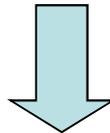


Il ciclo dell'azoto

Processi fisici

L'azoto in forma minerale viene coinvolto in processi fisici e può essere allontanato dal sistema suolo-pianta.

- NO_3^- libero (solubile) nel terreno viene allontanato con l'acqua di percolazione verso gli strati più profondi (processo di lisciviazione dei nitrati);
- è un serio problema ambientale (attenzione da parte dell'Unione Europea (direttiva nitrati)).



Inquinamento delle acque di uso potabile

Limite legislativo: 50 mg/l (NO_3^-) 11.7 mg/l (N-NO_3^-)



Il ciclo dell'azoto

Processi fisici

L'azoto allo stato gassoso può essere allontanato dal terreno mediante volatilizzazione.

- **N_2O e NO (ossidi nitroso e nitrico)**

il primo è un potente gas serra e può essere causa della distruzione delle molecole di ozono in stratosfera, mentre il secondo è alla base di fenomeni come le piogge acide e smog fotochimico (formazione di ozono troposferico).

- **NH_3 (ammoniaca)**

fenomeno che si verifica in particolare durante la distribuzione dei reflui zootecnici e concimi minerali e durante le diverse fasi di allevamento (stabulazione e stoccaggio);
è un aspetto molto importante su cui il mondo agricolo e la comunità scientifica stanno lavorando.



Il ciclo dell'azoto

Processi fisici

Esistono altri due tipi di processi che influenzano il ciclo.

- **erosione del suolo** che comporta l'allontanamento dei nutrienti adsorbiti alle particelle di suolo

- **precipitazioni atmosferiche secche e umide** cioè deposizione dei nutrienti presenti negli strati più bassi dell'atmosfera



Il ciclo dell'azoto

Intervento umano sul ciclo

In agricoltura l'uomo interviene direttamente sul ciclo dell'azoto attraverso:

- l'apporto al suolo di **concimi minerali** la cui sintesi industriale sfrutta l'azoto atmosferico (processo Haber-Bosch).
- l'apporto al suolo di **concimi organici** da allevamento (liquame, letame, pollina..) e fanghi di depurazione di origine civile o industriale.

Ne consegue un'alterazione del ciclo dell'azoto nel comparto aria, acqua e suolo.



Ricapitolando

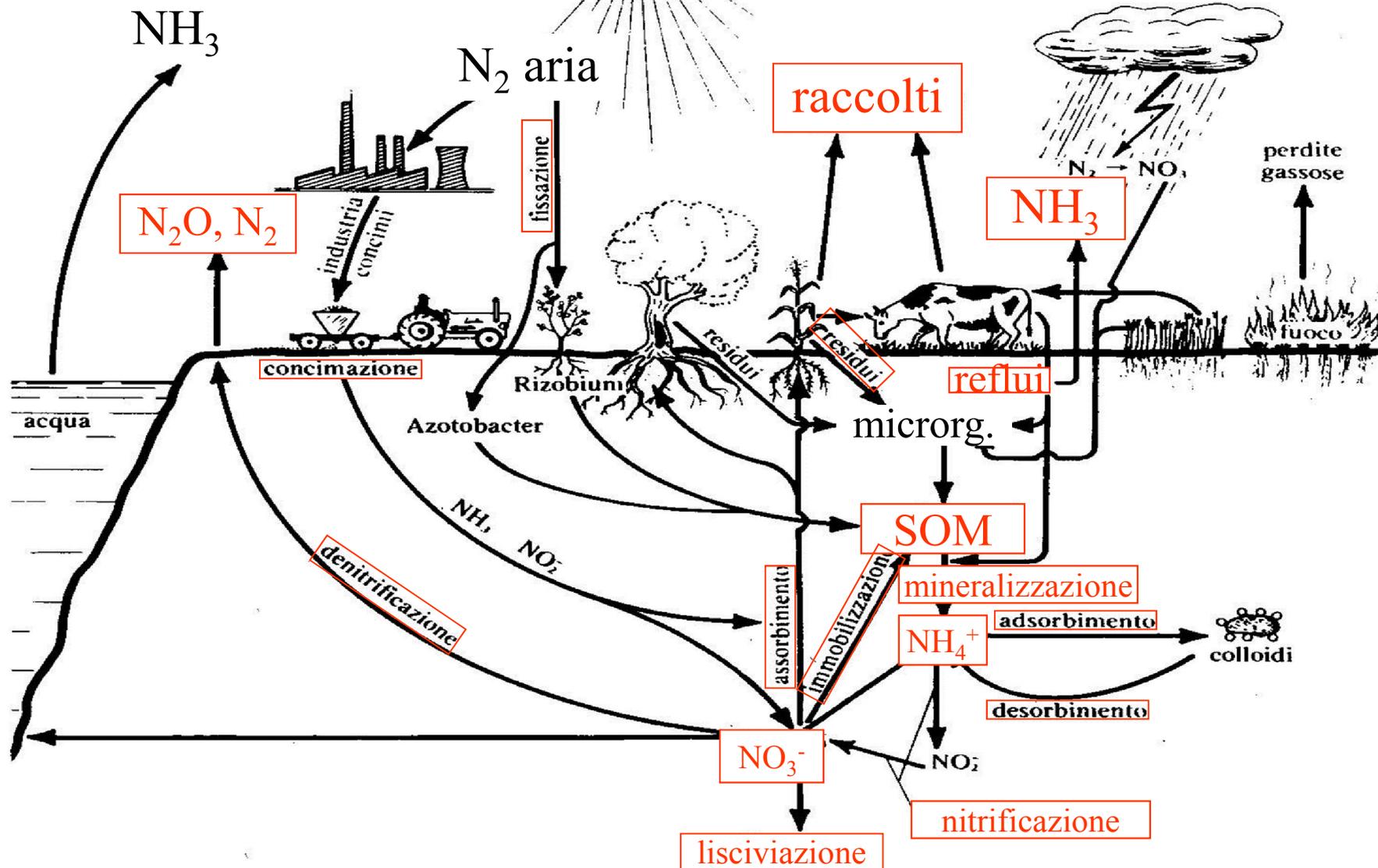


Fig. 9.1. — Rappresentazione schematica del ciclo dell'azoto.

Effetti dell'agricoltura

Popolazione mondiale in crescita

Maggiore richiesta di cibo

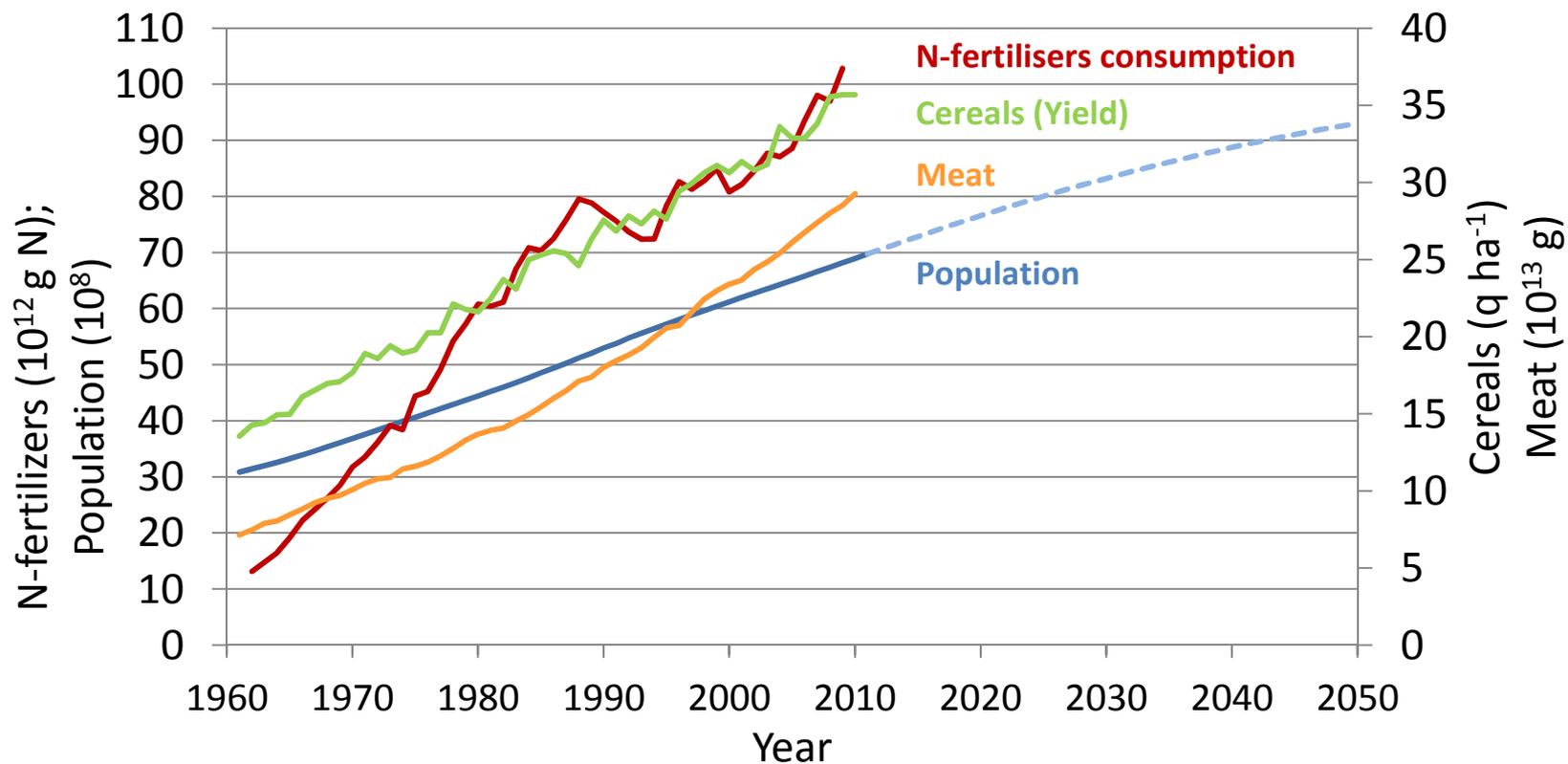
Necessità di nuove area coltivate

Negli ultimi due secoli, dal 1700 al 1980 la superficie di terre coltivate è cresciuta del 466% (Matson et al., 1997).

E negli ultimi anni?

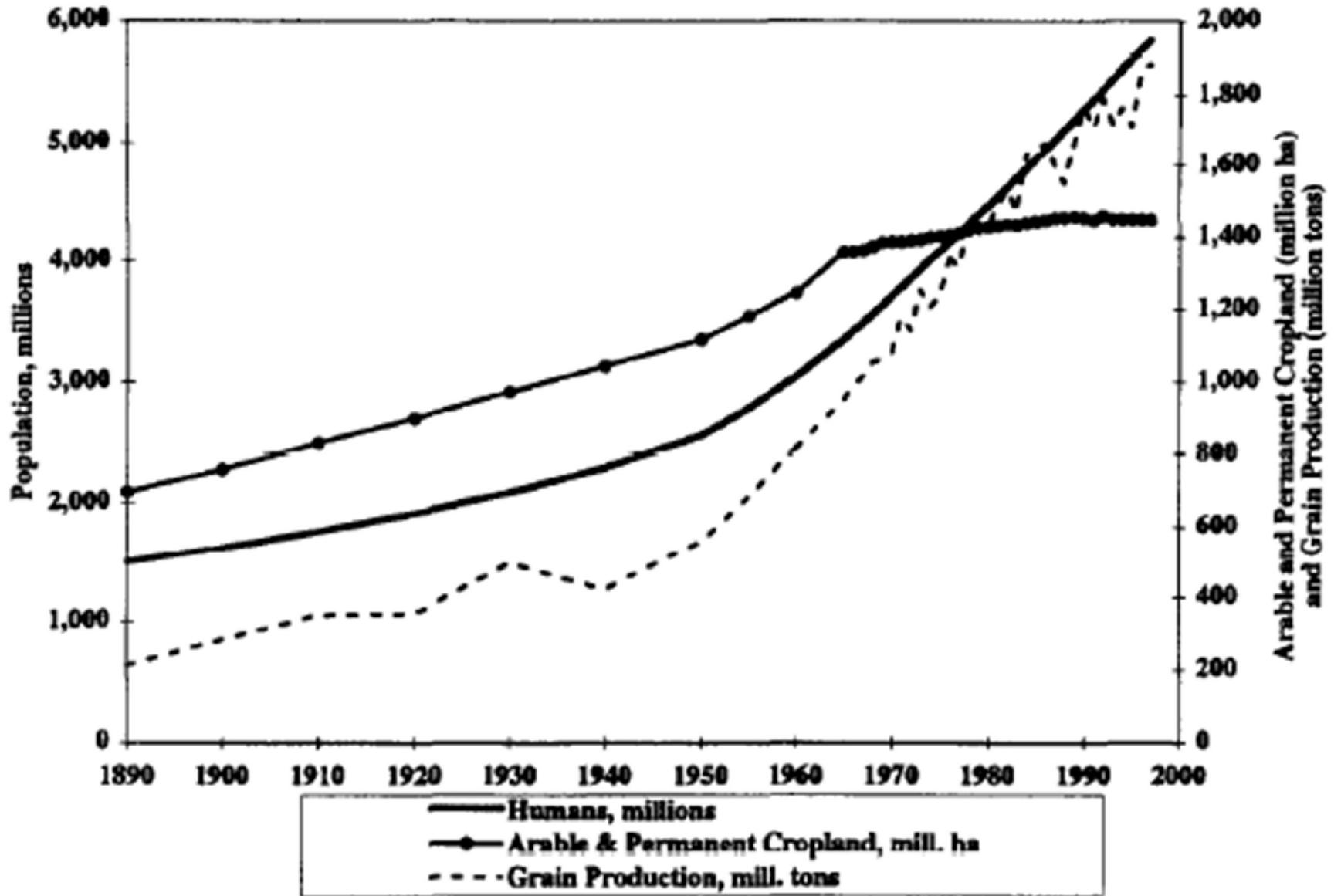


Effetti dell'agricoltura



(FAO Statistical Database, 2011)





(Galloway et al., 1998).



Destino dell'azoto nell'agroecosistema

N introdotto nell'agroecosistema è così distribuito (Smil 1998):

50% nella biomassa vegetale raccolta

23% come lisciviazione ,

12% come emissioni di NH_3 , N_2O and, NO_x .

10% è convertito come N_2 da denitrificazione.



Effetti dell'agricoltura

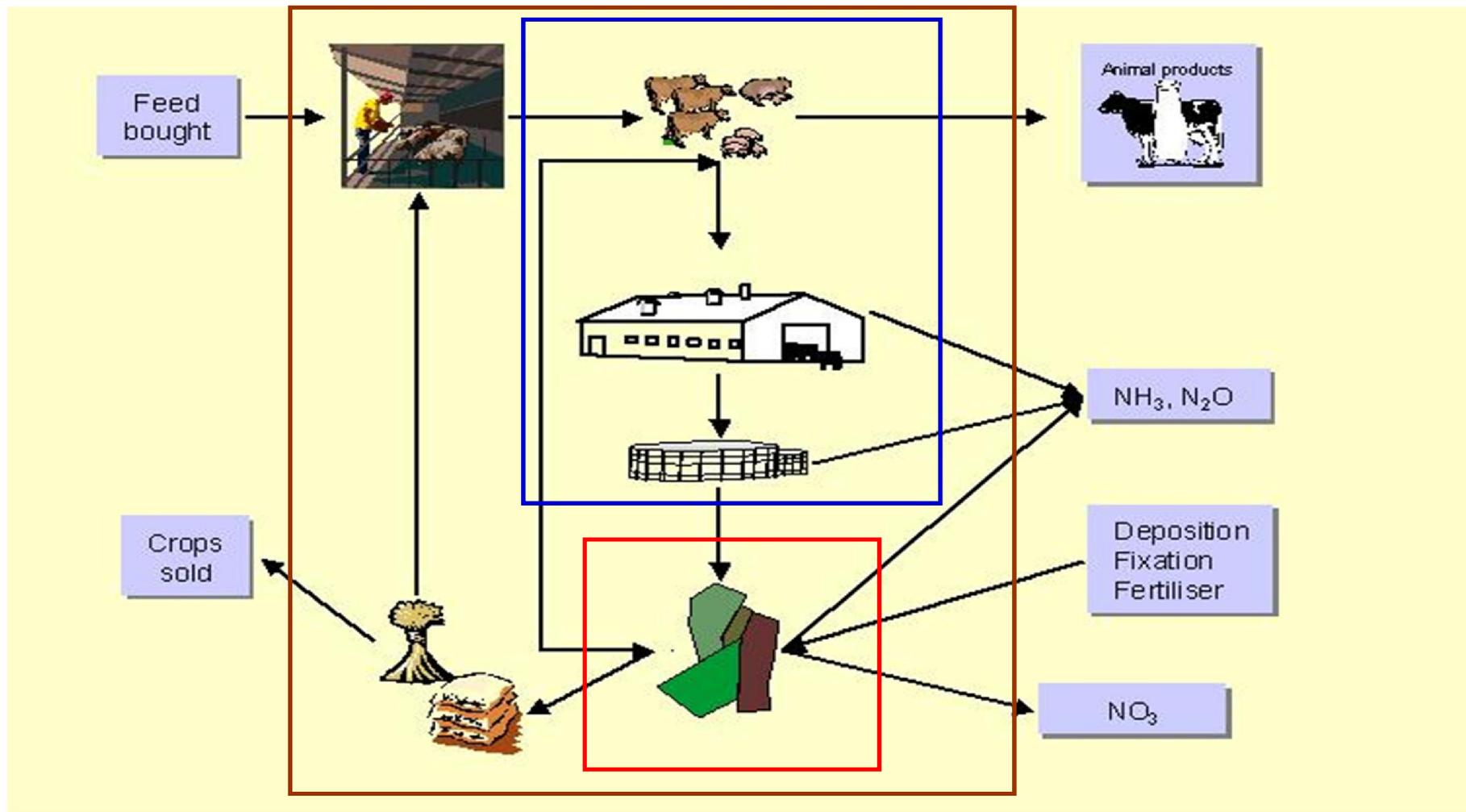
Possibili soluzioni verso un'agricoltura sostenibile:

Ridurre N input

Migliorare l'efficienza d'uso di N (pratiche agronomiche)



Il ciclo dell'azoto in azienda



Il ciclo dell'azoto in azienda

Comparto colturale

Input

- Fertilizzanti minerali
- Reflui zootecnici (sia prodotti in azienda sia importati)
- Azotofissazione

Output

- Prodotti vegetali raccolti
- Perdite nel comparto acqua ed atmosfera

Stoccaggio

- Azoto immagazzinato nel suolo



Il ciclo dell'azoto in azienda

Comparto zootecnico

Input

- Alimenti (sia prodotti in azienda che acquistati)

Output

- Latte o carne prodotti
- Reflui prodotti
- Perdite nel comparto atmosfera da stalla e stoccaggio reflui

Stoccaggio

- Azoto ritenuto negli animali
- Azoto immagazzinato come prodotti vegetali



Il ciclo dell'azoto in azienda

Azienda agricola

Input

- Alimenti acquistati
- Reflui importati
- Fertilizzanti minerali acquistati
- Azotofissazione

Output

- Latte o carne prodotti
- Perdite nel comparto atmosfera da stalla e stoccaggio reflui, perdite in atmosfera e acqua dal comparto colturale

Stoccaggio

- Azoto ritenuto negli animali
- Azoto stoccato come prodotti vegetali e fertilizzanti
- Azoto stoccato nel suolo



Gestione dell'azoto

Una gestione inefficiente dell'azoto sia a livello aziendale che a livello di comparto zootecnico e/o colturale comporta un'eccedenza di questo nutriente nel sistema, che di conseguenza può essere **immagazzinato o allontanato verso altri sistemi.**

Nel secondo caso l'azoto perso può causare o indurre **potenziali problemi ambientali.**

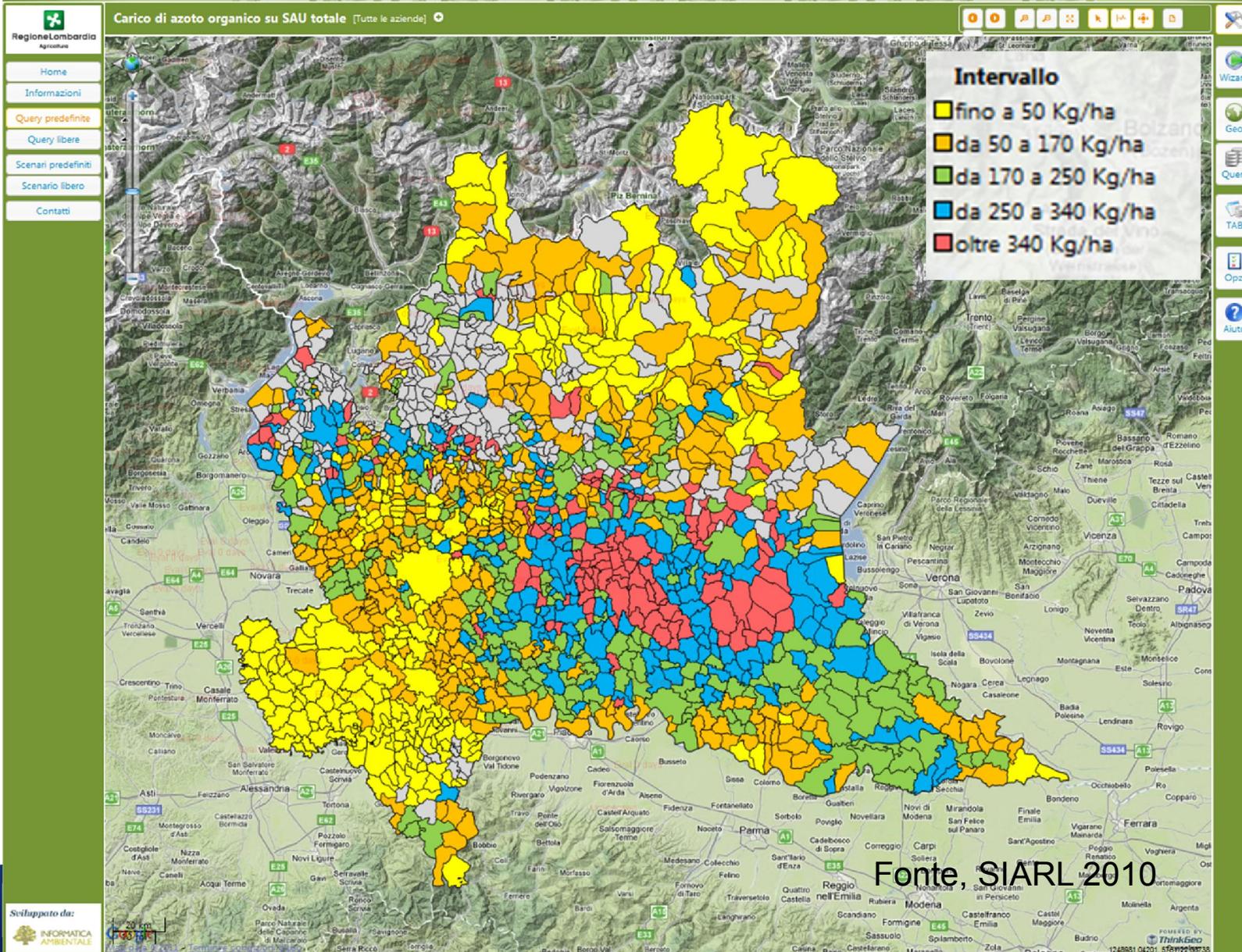
Le principali cause sono legate sia ad **eccessivi input** sia ad **inefficienze dovute al trasferimento di azoto all'interno dell'azienda** (es. da fertilizzanti minerali ad organici al campo, dal campo agli animali come alimenti, da alimento ingerito alla produzione di latte).



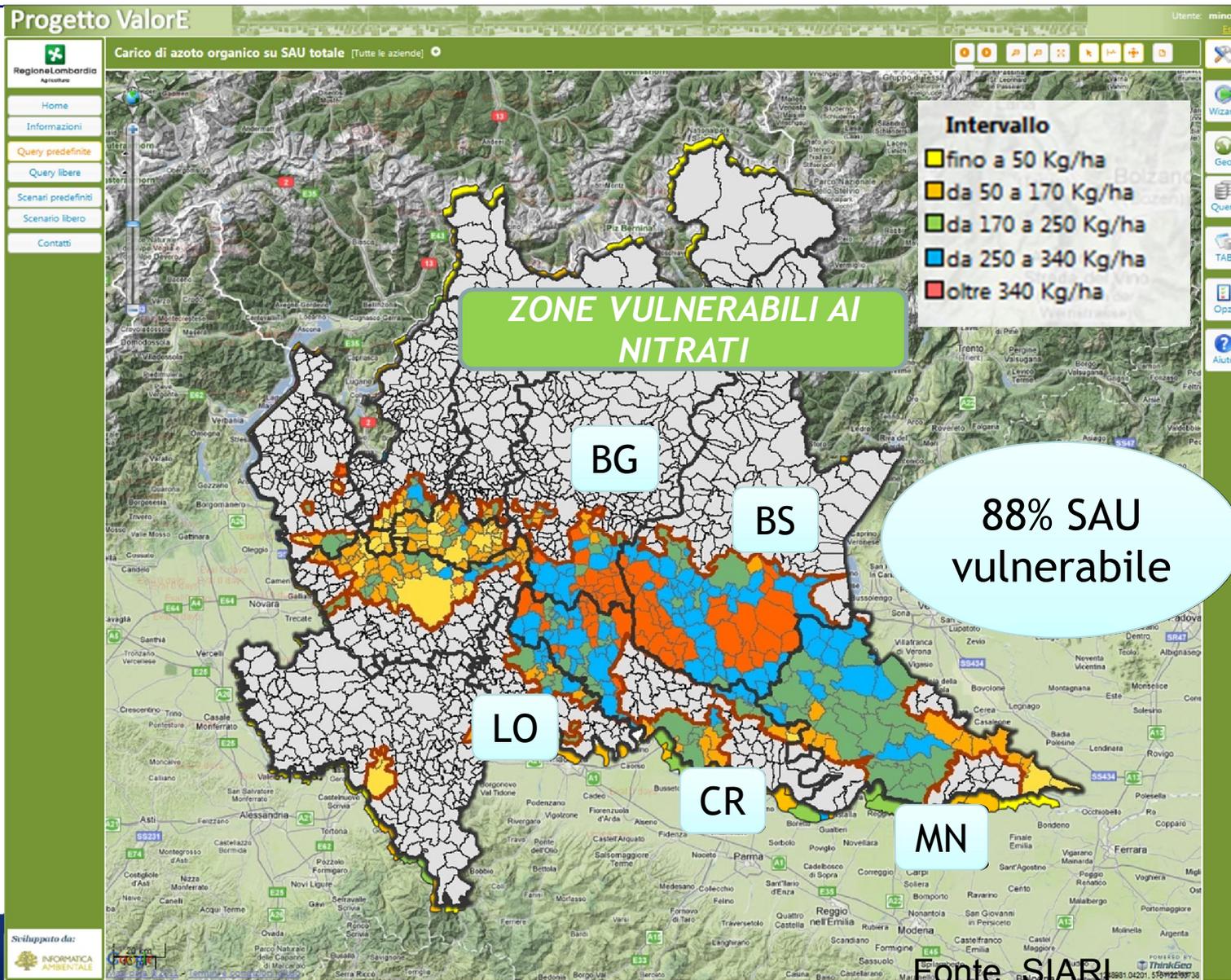
Carico di N zootecnico

Progetto ValorE

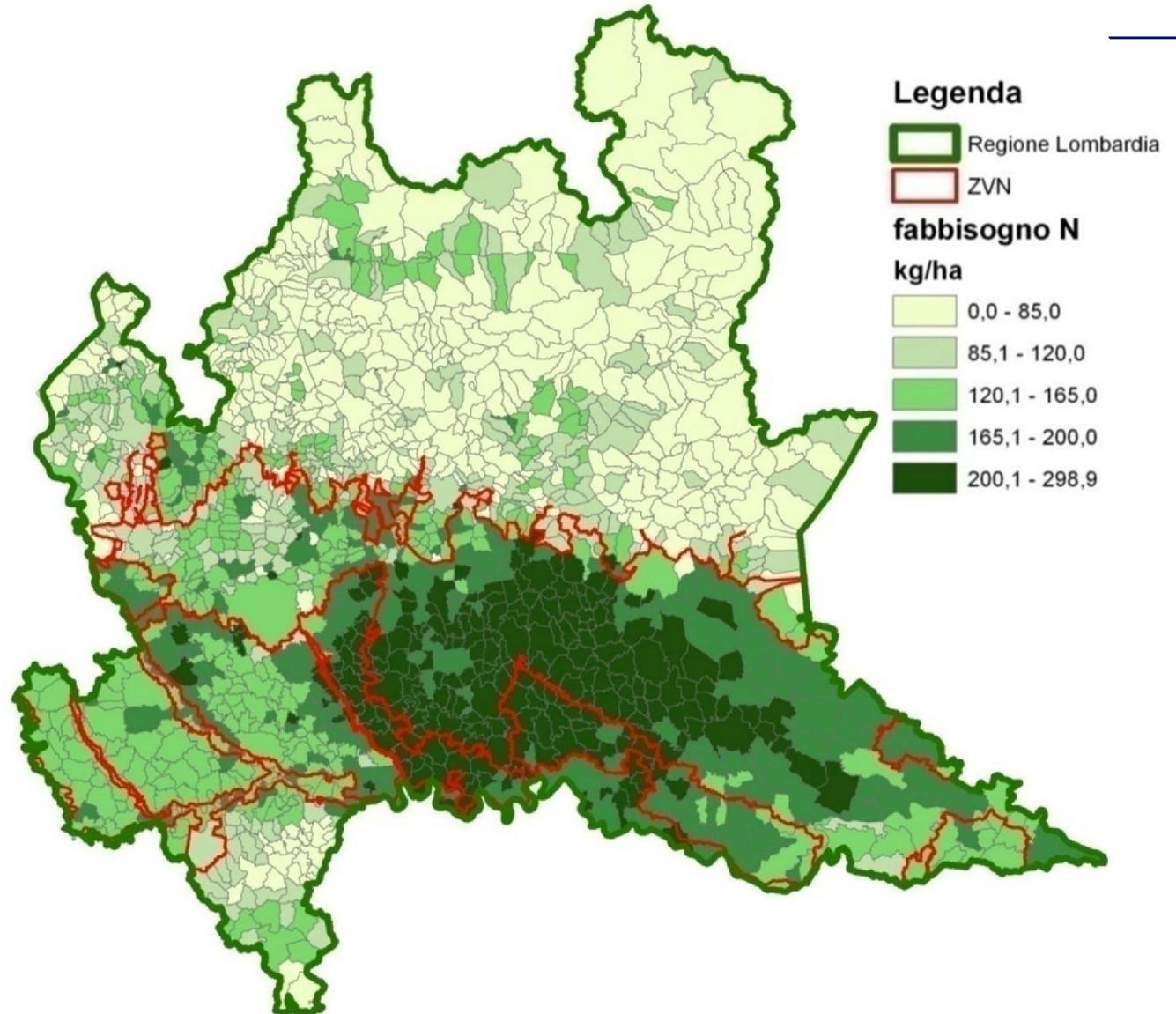
Utente: minoli



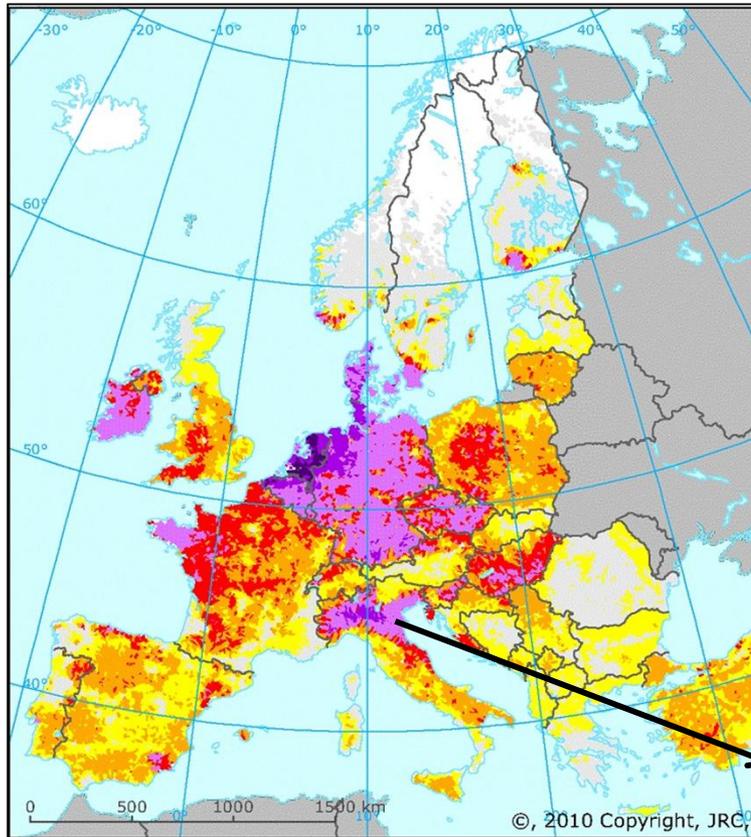
Zone vulnerabili



Fabbisogno di azoto culturale

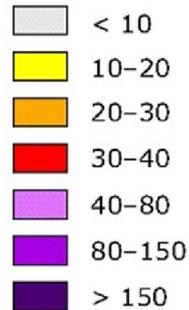


Surplus di azoto



Nitrogen surplus, 2005

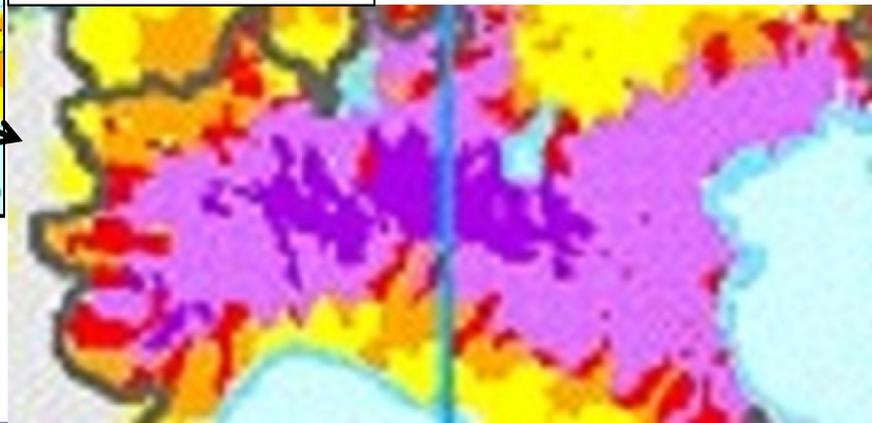
(kg/ha)



 No data

 Outside coverage

Surplus di azoto :
azoto distribuito meno
fabbisogno azoto delle
colture



Fonte: European Environment Agency (EEA)



Problemi ambientali dovuti all'azoto

Le principali perdite di azoto dal sistema agricolo sono:

- **Lisciviazione di nitrati** verso il comparto acqua (problema relativo al comparto colturale)
- **Volatilizzazione dell'ammoniaca** verso il comparto atmosferico (problema relativo sia al comparto colturale che zootecnico)
- **Emissione di ossidi di azoto** verso il comparto atmosferico (problema relativo sia al comparto colturale che zootecnico)



Lisciviazione dei nitrati

La “Direttiva Nitrati” (91/676/CEE) ha avuto il suo pieno recepimento a livello nazionale solo con il dlgs. 152 del 3 aprile 2006 e il DM del 7 aprile 2006.

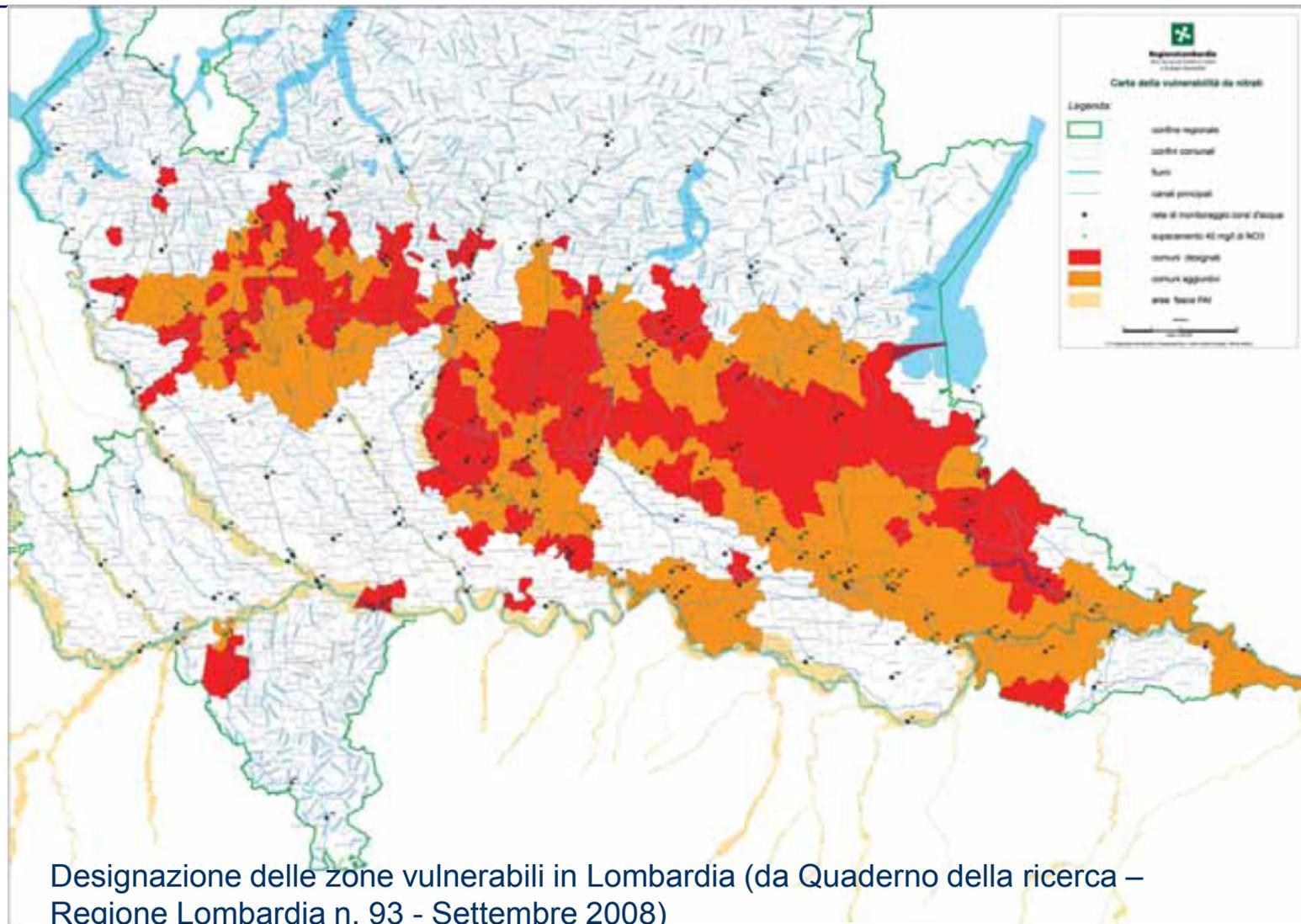
Designazione di zone vulnerabili, cioè di zone dove la gestione dell’azoto e in particolare quello di origine zootecnica è fortemente regolamentata attraverso dei “programmi di azione”.

Il limite più significativo riguarda la quantità massima di azoto da effluenti di allevamento utilizzabile, che viene fissata in 170 kg per ettaro e per anno nelle zone vulnerabili; dal 24/1/2012 Deroga Nitrati con possibile limite di 250 kg / ha anno a determinate condizioni.

Parallelamente il decreto nazionale regola l’utilizzo dell’azoto anche nelle zone non vulnerabili fissando il tetto di utilizzo di quello di origine zootecnica a 340 kg per ettaro e per anno.



Lisciviazione dei nitrati



Lisciviazione dei nitrati

Fenomeno legato alle caratteristiche pedo-climatiche e alla disponibilità di azoto nel suolo (variabile considerate nella designazione delle aree vulnerabili e non).

Nei nostri ambienti si verifica maggiormente nel periodo autunnale (alta piovosità) e elevato azoto residuale nel suolo a seguito della raccolta delle colture primaverili-estive (es.mais).

In ambienti caratterizzati da elevato drenaggio (terreno sabbioso) è maggiore la probabilità di lisciviazione dell'azoto.



Volatilizzazione dell' ammoniacca

L' agricoltura pesa sull'emissione di ammoniacca:

63% Globale (Bouwman et al., 1997)

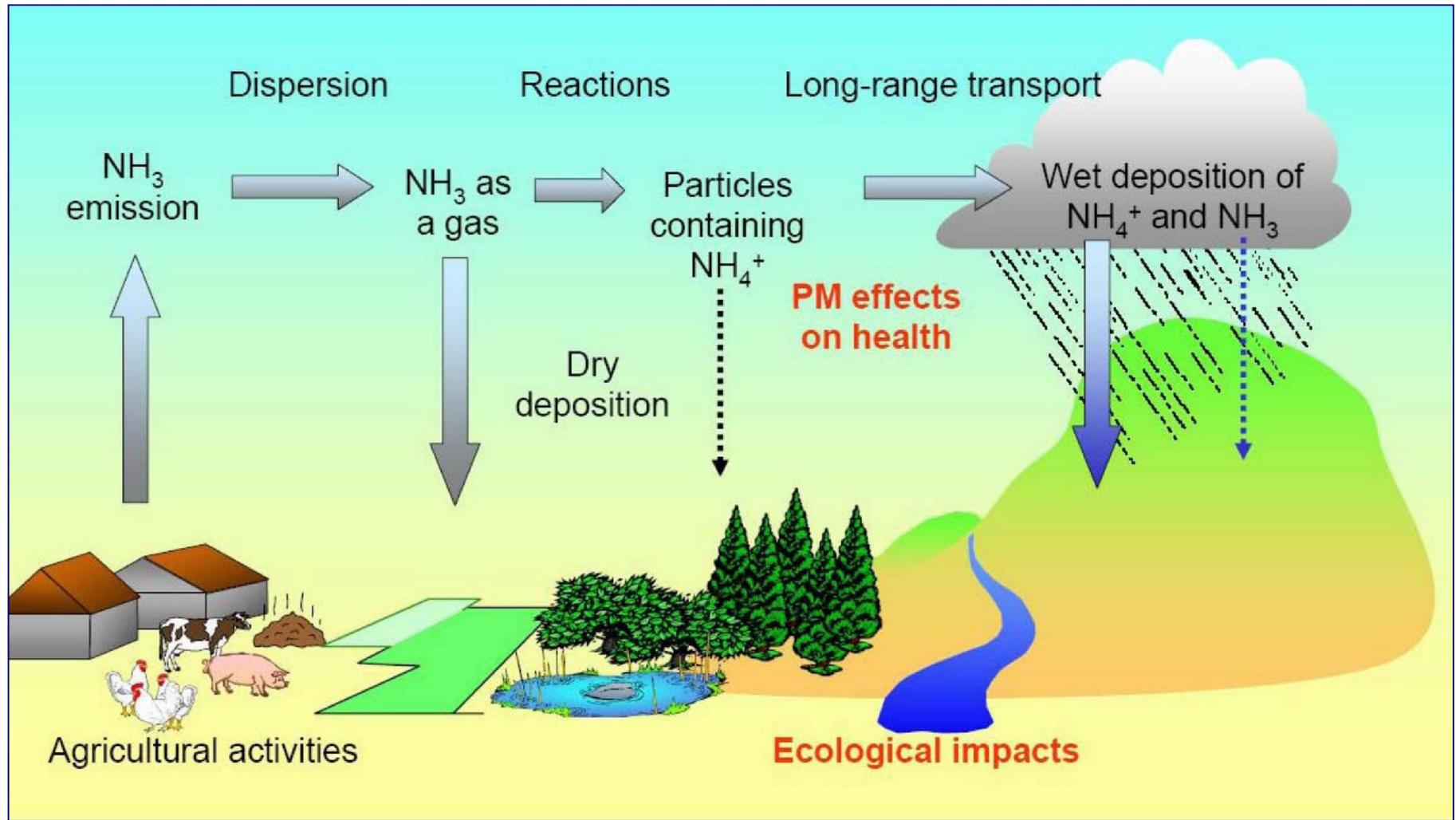
70% Europa (Génermont et al., 1998; Erisman et al., 2003)

94% Italia (EEA, 2004)

82% Lombardia settore zootecnico (A. Costa, M. Guarino 2009)



Volatilizzazione dell' ammoniaca



Volatilizzazione dell' ammoniaca

Fenomeno legato alle condizioni meteo (temperatura e intensità e direzione del vento) e al contenuto in ammonio.

Si può verificare mediante:

- Emissioni dalla stalla
- Emissione dallo stoccaggio di reflui liquidi e solidi
- Emissione durante le operazioni di spandimento dei reflui e la distribuzione dei fertilizzanti minerali



Ottimizzare la gestione dell'azoto

Il processo di ottimizzazione dell'azoto riguarda sia il comparto colturale che quello zootecnico con conseguenze dirette a livello aziendale.

Comparto colturale:

Ottimizzazione delle pratiche agronomiche cioè applicazione delle BMPs (Best Management Practices) che riguardano:

- fertilizzazioni organiche e minerali,
- avvicendamento colturale,
- irrigazione,
- lavorazioni del terreno.

Comparto zootecnico:

- trattamento dei reflui zootecnici
- razione animale



Ottimizzare la gestione dell'azoto (comparto colturale)

La gestione delle fertilizzazione si basa sul concetto di efficienza d'uso dell'azoto da parte della pianta.

Gestione dei reflui zootecnici:

- Redistribuzione delle quantità in funzione delle necessità delle colture
- Applicazione dei reflui preferibilmente in pre-semina rispetto a distribuzioni autunnali (riduzione potenziale della lisciviazione)
- Interramento dei reflui nelle 24 ore dalla distribuzione o iniezione (entro 1 ora si possono ridurre le emissioni di ammoniaca dell'80%)



Ottimizzare la gestione dell'azoto (comparto colturale)

Tabella 12 - Valori medi di efficienza globale (% dell'N totale apportato) dei fertilizzanti organici in funzione dell'epoca e modalità di distribuzione, nonché della coltura fertilizzata. Dati rielaborati dagli Autori citati in tabella 11. L'efficienza globale si riferisce al medio periodo (3 anni).

Table 12 - Average global efficiency (% total N) for solid and liquid manure, as a function of time and type of distribution, and fertilized crop. Data from the same Authors of the table 11. Global efficiency refers to a three-years period.

		cereali vernini		sarchiate primaverili		prati	
		primavera	autunno	primavera	autunno	primavera	autunno
letame	interrato	-	42	54	46	63	62
	non interrato	41	39	52	44	55	54
liquame bovino	interrato	65	47	75	54	79	63
	non interrato	59	41	66	45	66	50
liquame suino	interrato	73	49	83	54	87	65
	non interrato	61	37	68	39	67	45
pollina	interrato	-	50	85	55	86	66
	non interrato	61	38	76	46	69	49

(da Grignani et al., 2003)



Ottimizzare la gestione dell'azoto (comparto colturale)

Fertilizzazioni minerali:

- Adozione dei piani di concimazione per il calcolo della dose di azoto minerale da applicare
- Applicazione di azoto nel periodo di maggiore assorbimento da parte della pianta



Ottimizzare la gestione dell'azoto (comparto colturale)

Scelta delle colture (avvicendamento colturale)

Inserire colture autunno-vernine per avere suolo coperto in inverno e sistemi con grande capacità di assorbimento:

- Doppia coltura (es. mais-loiessa, sia a scopo produttivo che esclusivamente per re-interramento)
- Erba medica (elevato azoto residuale a favore delle colture che seguono e alta capacità di assorbimento)
- Prati permanenti (alta capacità di assorbimento)



Ottimizzare la gestione dell'azoto (comparto colturale)

Irrigazione

Le irrigazioni, soprattutto se abbondanti, possono causare eventi di percolazione dell'acqua e conseguente lisciviazione dell'azoto.

Una buona pratica irrigua può quindi diminuire il rischio di lisciviazione: nella valutazione della pratica irrigua bisogna considerare la quantità d'acqua effettivamente distribuita e l'efficienza dell'irrigazione.

L'efficienza di irrigazione è data dal rapporto tra il volume di acqua trattenuta dallo strato di terreno ed utilizzabile dalla coltura e il volume di acqua prelevata nel punto di approvvigionamento.

Questo rapporto è funzione di fattori sia ambientali sia gestionali:

- volume di acqua apportato;
- metodo di irrigazione adottato;
- momento della distribuzione in campo;
- tipologia di suolo;
- tipologia di coltura interessata dell'irrigazione.



Ottimizzare la gestione dell'azoto (comparto zootecnico)

Trattamento dei reflui zootecnici

- Separazione solido-liquida (formazione di materiale palabile esportabile)
- Stabilizzazione degli effluenti (degradazione sostanza organica e riduzione umidità) (azoto non rimosso ma trasformato in forma minerale)
- Rimozione biologica dell'azoto (ossidazione ammoniacale o azoto organico e successiva denitrificazione) fino al 70% liberato in atmosfera
- Estrazione dell'azoto ammoniacale in soluzione come concime minerale



Ottimizzare la gestione dell'azoto (comparto zootecnico)

Trattamento dei reflui zootecnici

- Produzione di energia (biogas); trattamento anaerobico senza rimozione dell'azoto
- Produzione di energia e rimozione azoto (combinazione delle due tecniche)

Gestione e riduzione dell'azoto di origine zootecnica - Soluzioni tecnologiche e impiantistiche, Quaderno della ricerca – Regione Lombardia n. 93 - Settembre 2008

Disponibile in:

http://www.ersaf.lombardia.it/Upload/NITRATI/02_00_presentazione.html

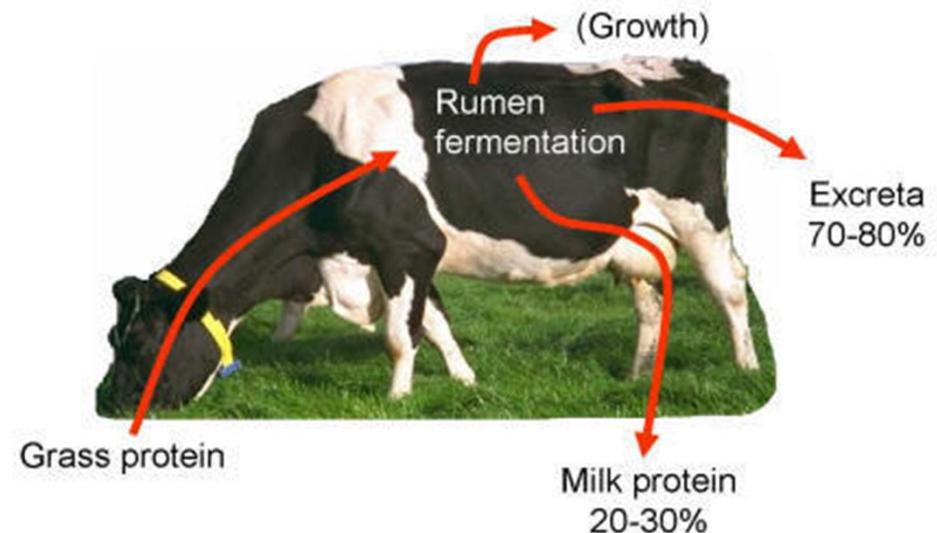


Ottimizzare la gestione dell'azoto (comparto zootecnico)

Razione animale

Diete animali “low-protein” che comportano:

- minore N ingerito e quindi escreto
- riduzione N importato come alimenti
- riduzione ammoniacale
- mantenimento della produzione di latte



Ottimizzare la gestione dell'azoto - strumenti diagnostici

Possibilità di gestione in tempo reale (**strumenti diagnostici** che possono aiutare l'agricoltore):

- SPAD: è uno strumento portatile che permette, con una tecnica non distruttiva, la definizione dello stato nutrizionale azotato di una coltura, stimando il contenuto della clorofilla nel tessuto fogliare;
- NDVI: indici vegetativi utilizzati da sistemi ottici di rilevamento dello stato nutrizionale della coltura; stimano in modo puntuale la richiesta di azoto della coltura determinando le dosi di fertilizzante in base alla disponibilità di azoto nel suolo;
- Nitrati negli stocchi a fine stagione colturale;
- Concentrazione di azoto nei reflui (NIR spettroscopia nel vicino infrarosso) sono tecniche utilizzabili anche direttamente in azienda, che si basano sulla misura della sostanza secca, della conducibilità elettrica e della densità che sono considerati dei buoni predittori della concentrazione di azoto nei reflui;



Ottimizzare la gestione dell'azoto - modelli e indicatori

Ulteriori strumenti di supporto alla gestione dell'azoto sono:

- **modelli di simulazione** che operano a diverse scale aziendale e territoriale come quelli messi a punto recentemente su iniziativa della Regione Lombardia (progetto ValorE).
Consentono di effettuare simulazioni di interventi sulla gestione dell'azoto sia del comparto zootecnico, sia del comparto colturale verificandone a priori gli effetti sotto diversi aspetti tecnico-agronomico ambientale ed economico.
Permettono inoltre la valutazione delle ipotesi più aderenti ai diversi obiettivi che si vogliono perseguire come ad esempio contenimento delle perdite ammoniacali, rispetto dei limiti normativi, ottimizzazione di epoche e dosi di fertilizzanti minerali da distribuire, introduzione di strutture per il trattamento dei reflui.
- **Indicatori sintetici** forniscono periodicamente la misura di un certo fenomeno o di un certo aspetto della gestione dell'azoto senza significativi impegni economici e organizzativi da parte della azienda e attraverso un confronto nel tempo e nello spazio consentono una prima valutazione del fenomeno.

