



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI MILANO

FACOLTÀ DI AGRARIA

CICLO DELL'AZOTO



Ruolo dell'azoto

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

L'azoto è:

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



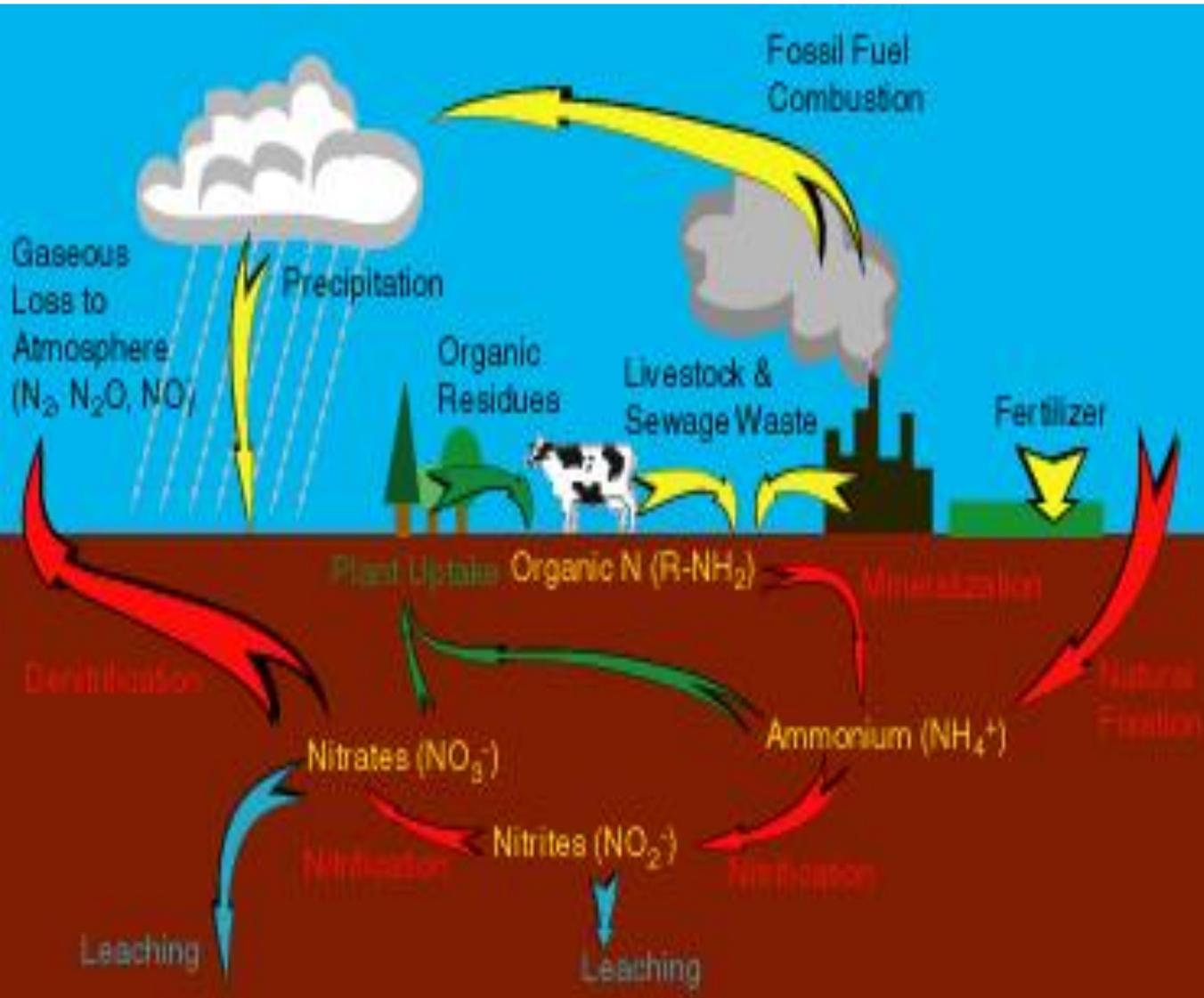
FORME DELL'AZOTO

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 $N-NO_3^-$)



CICLO DELL'AZOTO



Processi naturali

Forze fisiche

Trasformazioni microbiche

Intervento umano



CICLO DELL'AZOTO

Si possono riconoscere tre sottocicli:

- ✓ **Sottociclo elementare (comparto atmosfera)**
(**Fissazione biologica** di N atmosferico e ritorno in atmosfera in forme gassose NO, NO₂, NH₃)
- ✓ **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)

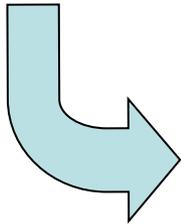


CICLO DELL'AZOTO

Fissazione

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

Processo di fissazione



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 è biologica !
- Micro-organismi (energia da ossidazione dei carboidrati)



CICLO DELL'AZOTO

Fissazione biologica

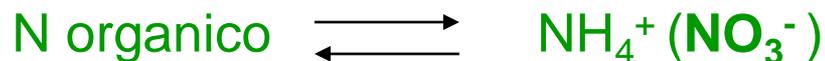
- **Simbiontica:**
 - L'azoto atmosferico viene fissato da micro organismi che vivono in simbiosi con le piante superiori (**leguminose**) *Rhizobium* (noduli radicali e sistema enzimatico; nitrogenasi come catalizzatore)
- **Non Simbiontica:**
 - l'azoto atmosferico viene fissato da micro organismi liberi nel terreno (*Azotobacter, Clostridium, Cyanobacteria*)

Grande importanza dal punto di vista agronomico della fissazione simbiontica (da 50 fino a oltre 250 kg N /ha)



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 (tipologia S.O.);
- Temperatura;
- pH;
- Contenuto idrico.



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 ottimali tra 25° e 32°), pH ottimali tra (7 e 9), contenuto idrico vicino alla capacità di campo, rapporto 8/1 max tra NO_3 e NH_4 ...)

La nitrificazione porta ad importanti conseguenze ambientali.



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 ottimali: da 25° a 32° , pH intorno a 8.

La denitrificazione porta ad importanti conseguenze ambientali.



CICLO DELL'AZOTO

Assimilazione dell'azoto

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



I residui colturali che vengono poi lasciati sul terreno (interramento) vanno ad influenzare i processi di mineralizzazione e immobilizzazione.

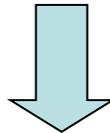


CICLO DELL'AZOTO

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**)
- ❑ 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^-)



CICLO DELL'AZOTO

Processi fisici

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

N₂O 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).

NH₃ viene allontanata verso l'atmosfera (processo di volatilizzazione dell'ammoniaca)

si verifica in particolare durante la distribuzione dei reflui zootecnici e concimi minerali.

aspetto molto importante su cui il mondo agricolo e la comunità scientifica stanno lavorando.



CICLO DELL'AZOTO

Processi fisici

Esistono altri due tipi di processi che influenzano il ciclo.

- erosione del suolo
(allontanamento dei nutrienti adsorbiti alle particelle di suolo)

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



CICLO DELL'AZOTO

Intervento umano sul ciclo

Azione diretta dell'uomo sugli input di azoto:

L'agricoltura può intervenire direttamente sul ciclo dell'azoto:

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

Conseguenze su comparto aria, acqua e suolo.

Alterazione del ciclo dell'azoto ????



Ricapitolando

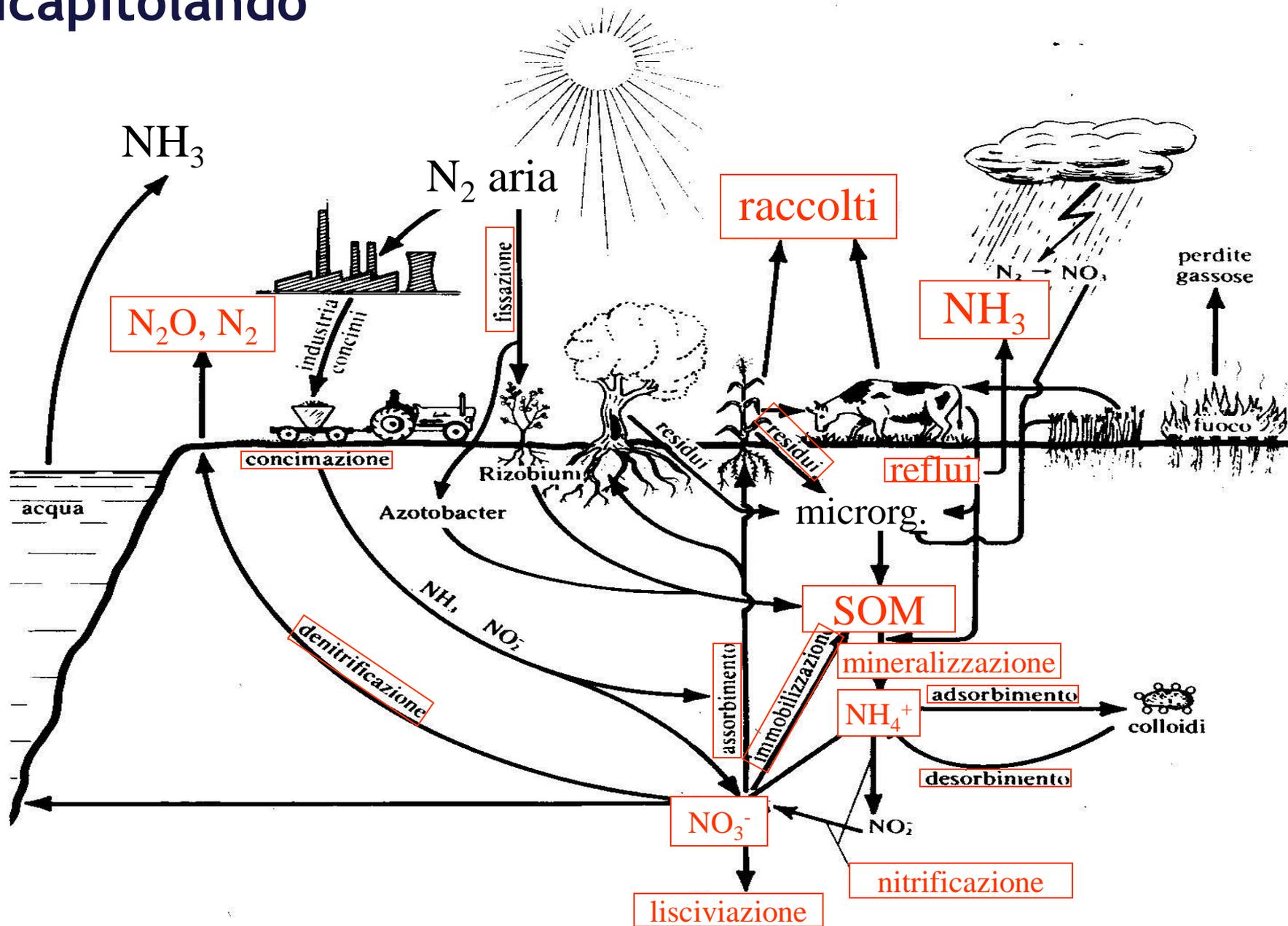


Fig. 9.1. — Rappresentazione schematica del ciclo dell'azoto.

EFFETTO AGRICOLTURA

Popolazione mondiale in crescita

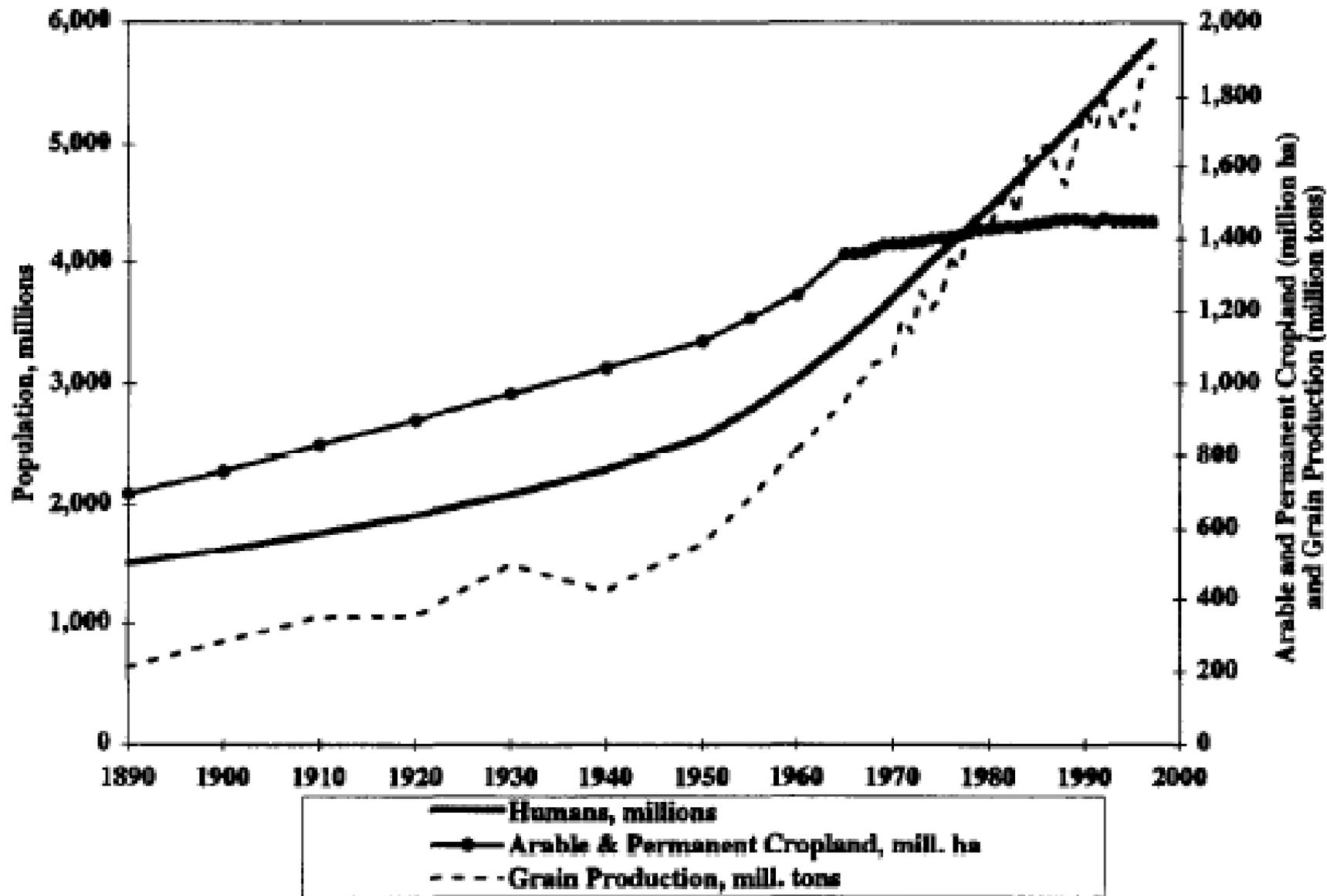
Maggiore richiesta di cibo

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).

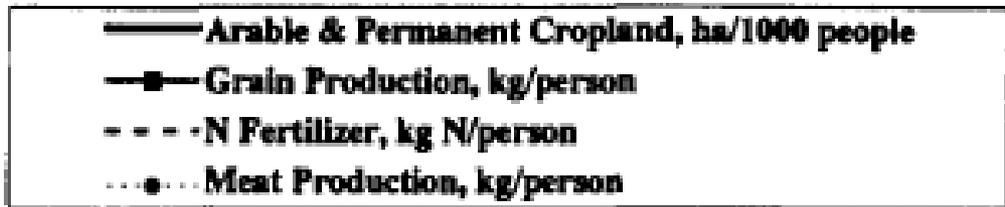
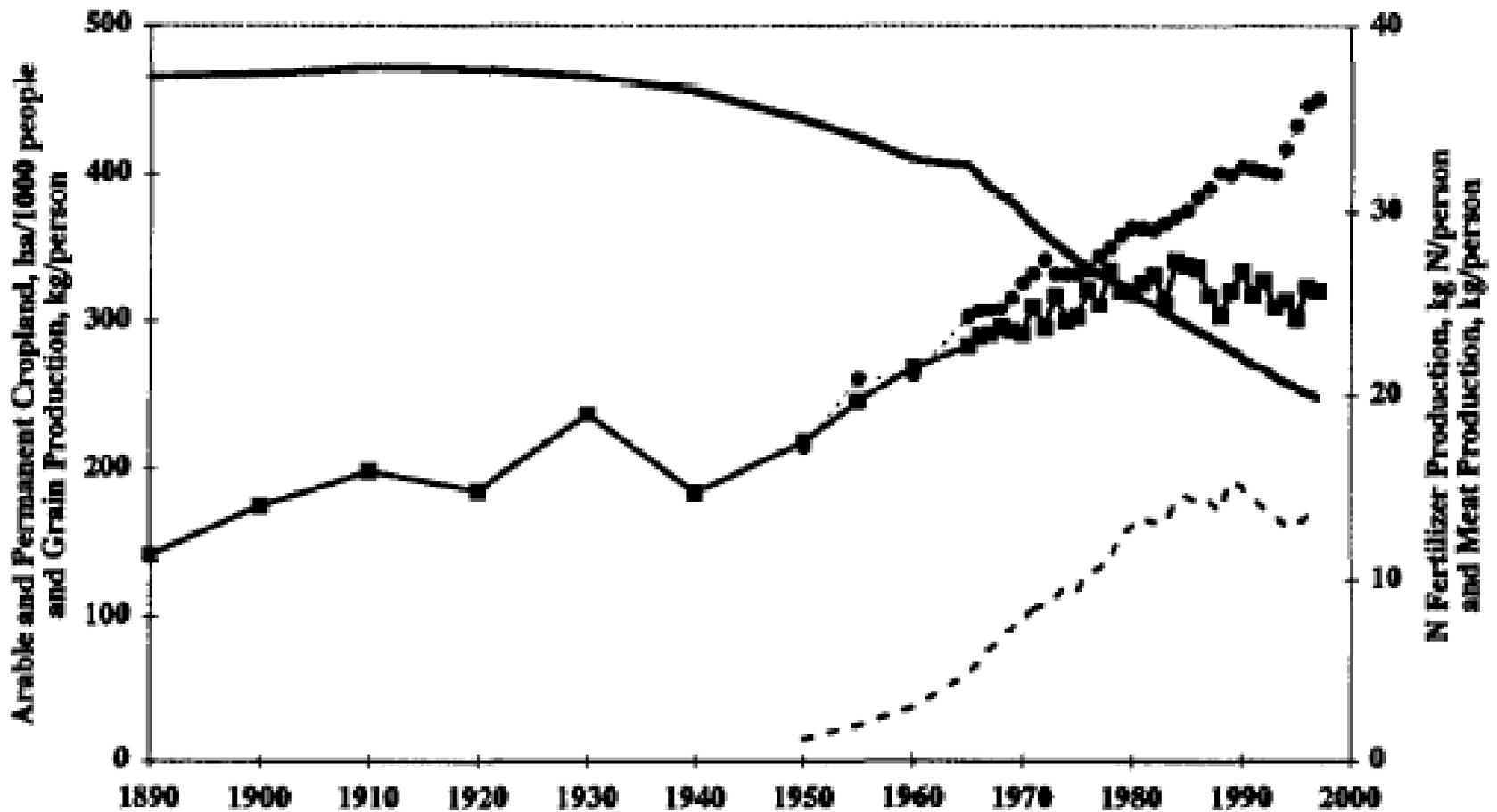
E negli ultimi anni?





(Galloway et al, 1998).





(Galloway et al., 1998).

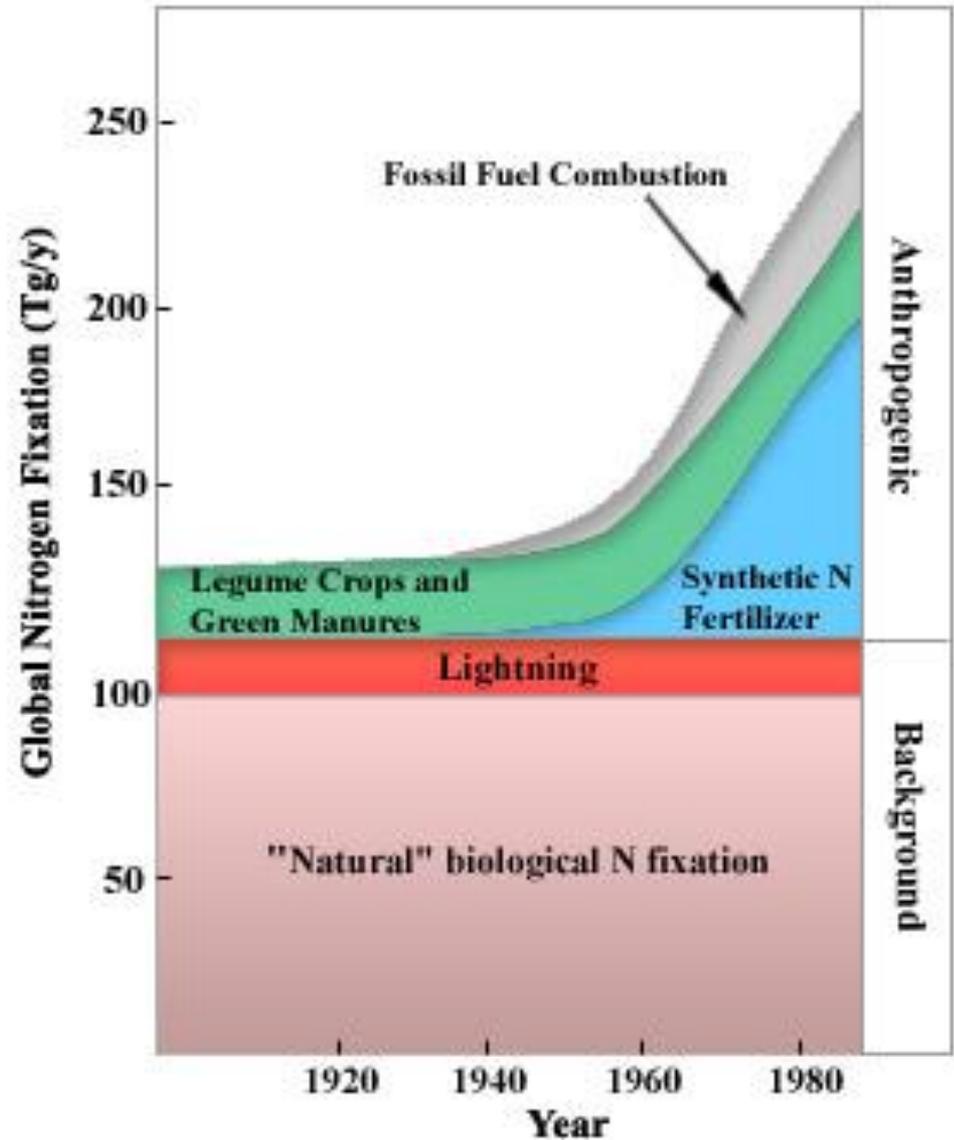
Forte intensificazione: dal 1995 al 2005 la produzione di cereali è cresciuta del 20% mentre la produzione di carne del 26% (Galloway et al., 2008)

EFFETTO AGRICOLTURA

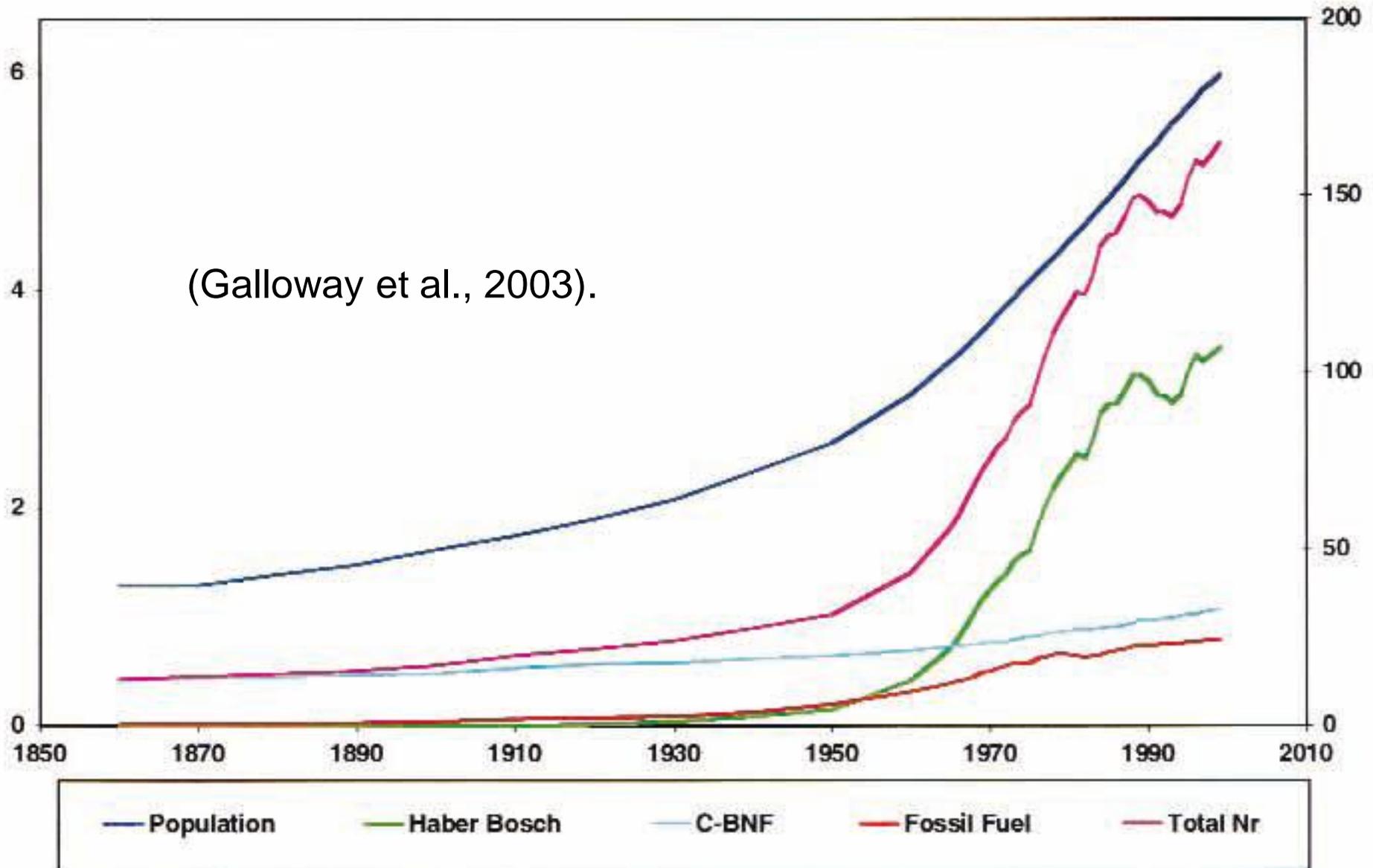
Alterazione del ciclo dell'azoto:

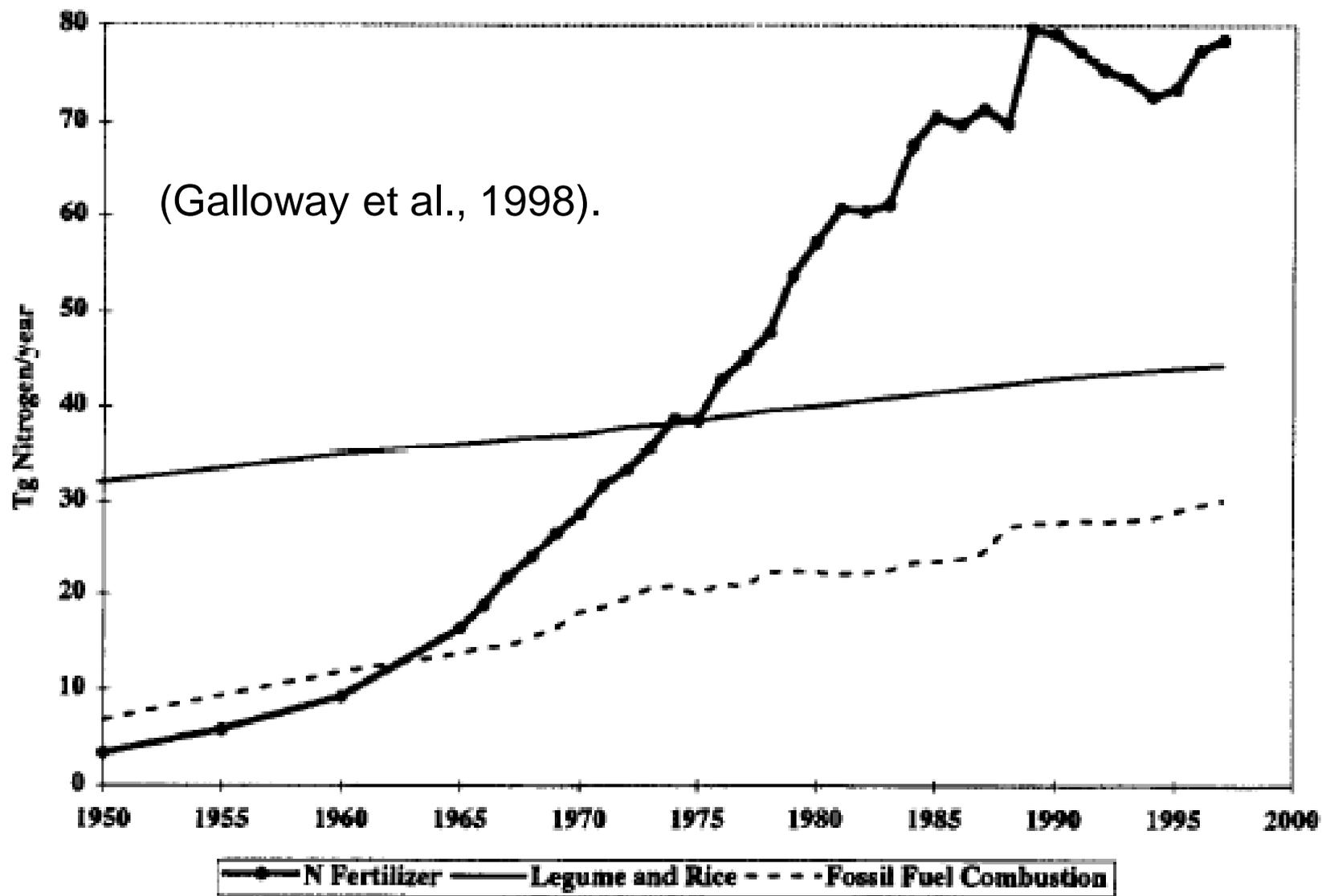
Immissione di azoto con fertilizzanti di sintesi (processo Haber-Bosch)

Induzione della fissazione di azoto (aumento terre coltivate a leguminose)



(Galloway et al., 2003).





DESTINO AZOTO e AGROECOSISTEMA

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

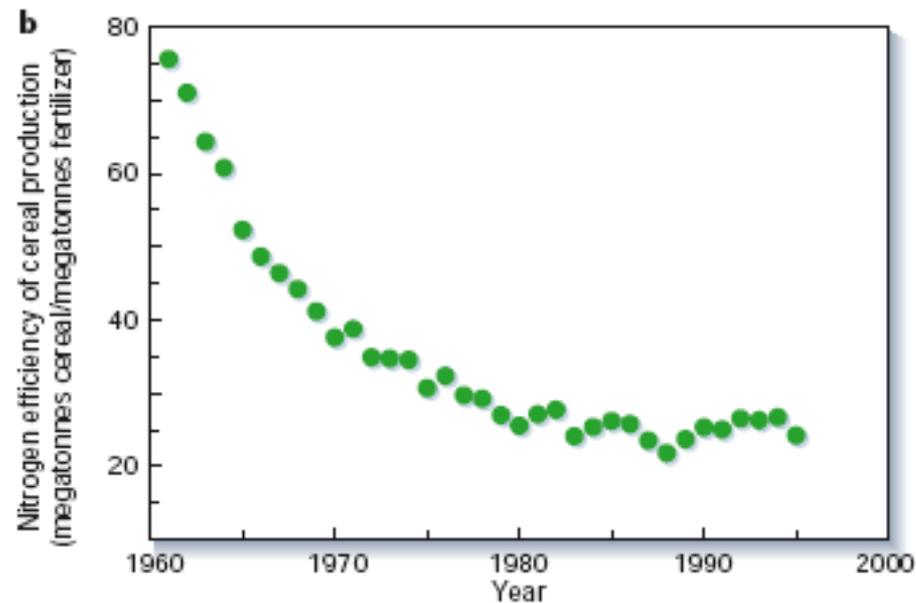
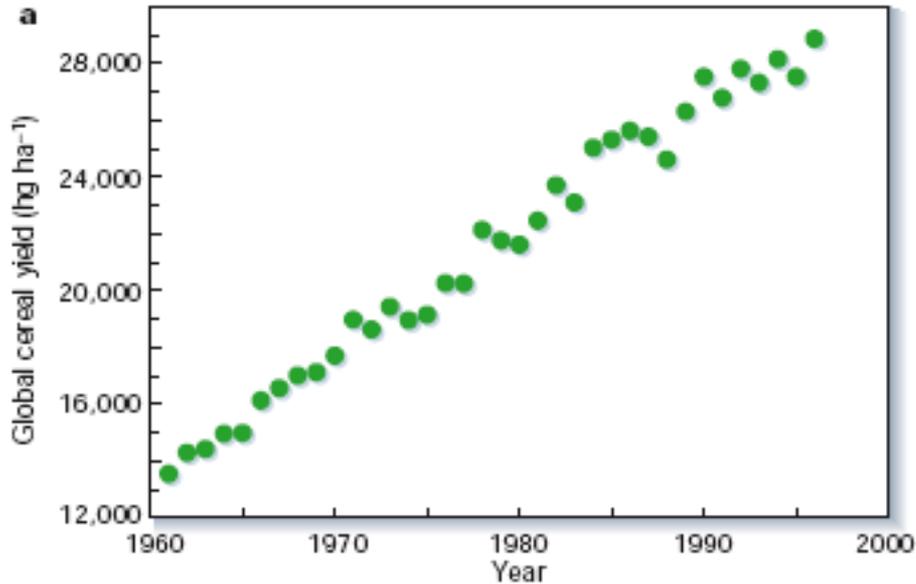
50% nella biomassa vegetale raccolta

23% come lisciviazione ,

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

10% è convertito come N_2 da denitrificazione.





Possibili soluzioni verso un'agricoltura sostenibile:

Ridurre N input

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

Domande

- 1) Cosa è la fissazione biologica dell'azoto?
- 2) In quali forme è presente l'N ?
- 3) Cosa è il Rhizobium?
- 4) Quali sono i fattori determinanti il processo di mineralizzazione?
- 5) I limiti legislativi di potabilità delle acque.
- 6) NO_3^- : suo comportamento nel suolo
- 7) NH_4^+ suo comportamento nel suolo?
- 8) Mineralizzazione e riorganizzazione.
- 9) Condizioni base per la nitrificazione
- 10) Condizioni base per la denitrificazione
- 11) Quali forme dell'azoto sono soggette a volatilizzazione?
- 12) Quali sono gli interventi umani nel ciclo dell'azoto?

