

Misc 17/11/88

S.I.S.S.

SOCIETÀ ITALIANA
DELLA SCIENZA
DEL SUOLO

UNICHIM

ASSOCIAZIONE
PER L'UNIFICAZIONE
NEL SETTORE
DELL'INDUSTRIA CHIMICA

GIORNATE DI STUDIO SULL'ANALISI DEL SUOLO

Verona, 19-21 settembre 1988



S.I.S.S.

SOCIETÀ ITALIANA
DELLA SCIENZA
DEL SUOLO

UNICHIM

ASSOCIAZIONE
PER L'UNIFICAZIONE
NEL SETTORE
DELL'INDUSTRIA CHIMICA

GIORNATE DI STUDIO SULL'ANALISI DEL SUOLO

Verona, 19-21 settembre 1988

con il contributo di:

BANCA POPOLARE DI VERONA
ENTE AUTONOMO FIERE DI VERONA
AGRIMONT
ENICHEM AGRICOLTURA
FABBRICA COOP. PERFOSFATI CEREAL

e con il patrocinio
dell'Università degli Studi di Milano

GIORNATE DI STUDIO
SULL'ANALISI DEL SUOLO

LA VALUTAZIONE DELLE PERDITE DI N_2O DAL SUOLO

P.G. Arcara

Istituto Sperimentale per lo Studio e la Difesa del Suolo, Piazza
Massimo D'Azeglio 30, 50121 Firenze

RIASSUNTO

La relazione esamina il significato del protossido di azoto nell'atmosfera e riferisce brevemente sulle principali fonti telluriche che ne determinano la presenza e sulle relazioni tra emissione di N_2O e condizioni chimico fisiche del suolo. Sono riportate dettagliatamente le metodologie di pieno campo e di laboratorio idonee ad una valutazione semplice, accurata e poco dispendiosa del protossido d'azoto svolto dal terreno. Al termine vengono riferiti i livelli delle perdite misurate in vari sistemi agrari anglosassoni e in alcune aree sperimentali italiane a grano e a prato.

SUMMARY

The paper deals briefly with the meaning of nitrous oxide in the atmosphere and with its main telluric sources. Some relationships between nitrous oxide emission and soil characteristics are examined. Simple, careful and up to date methods for nitrous oxide evaluation in open field and in laboratory are reported in detail. At the end rates of nitrous oxide emissions from different cropped and fertilized soils are referred.

1. INTRODUZIONE

Da circa un secolo il protossido d'azoto (N_2O) è annoverato tra i gas presenti nella composizione dell'atmosfera terrestre e la sua concentrazione stimata attorno a 300 ppb ma solo negli ultimi quindici anni questo gas è divenuto oggetto di crescente interesse da parte di diversi settori della ricerca applicata in conseguenza del ruolo che sembra avere nella catalisi distruttiva dell'ozono che protegge la biosfera da un'eccessiva penetrazione di raggi ultravioletti. Tra la fine degli anni '70 e l'inizio degli anni '80 particolare attenzione è stata data all'ipotesi che l' N_2O rilasciato nell'atmosfera dalla denitrificazione dei nitrati presenti nel suolo e nelle acque potesse essere la molla capace di far scattare le reazioni che determinano la parziale distruzione della fascia stratosferica dell'ozono.

Questa ipotesi, largamente pubblicizzata e talora divulgata con eccessiva disinvoltura, ha sollevato notevoli preoccupazioni a livello internazionale sull'uso dei fertilizzanti azotati visti come possibili agenti di elevate emissioni dal suolo di N_2O prodotto nel corso della denitrificazione dei nitrati derivanti dalla fertilizzazione. Fortunatamente le preoccupanti valutazioni del Council for Agricultural Science and Technology (CAST, 1976) e di numerosi Autori anglosassoni (Crutzen and Ehhalt, 1977; Hahn and Junge, 1977; Liu et al., 1977; Mc Elroy et al., 1976) basate su modelli di previsione formulati verso la metà degli anni '70 sono risultate confermate solo in alcuni casi ma molto lavoro deve essere ancora fatto per arrivare ad una completa identificazione sia delle principali fonti che degli "scarichi" dell' N_2O nel suolo e per una soddisfacente valutazione del tempo di persistenza del gas nell'atmosfera.

2. IL SUOLO COME FONTE E COME SCARICO DI N_2O

Sebbene una grande parte della letteratura internazionale prodotta fino al volgere degli anni '70 e riguardante le fonti del protossido di azoto presente nell'atmosfera fosse partita dall'assunto che questo gas provenisse largamente, se non interamente, dalla riduzione anaerobica dei nitrati per opera dei microrganismi denitrificanti, molteplici indagini successive hanno evidenziato che buona parte dell' N_2O può derivare dall'ossidazione aerobica dell'ammonio a nitrato condotta nel suolo dai microrganismi nitrificanti (Bremner and Blackmer 1981; Delwiche, 1981; Freney et al., 1979). Molti Autori ritengono oggi che vi sia una sostanziale equivalenza nelle perdite di azoto sotto forma di N_2O dai suoli agrari dovute ai processi di nitrificazione e di denitrificazione e il maggior peso dell'uno o dell'altro processo deve essere attribuito al tipo dei fertilizzanti (composti ammoniacali o nitrici) impiegati (Bremner et al., 1981; Breitembeck et al., 1980; Mosier and Hutchison, 1981; Sahrawat and Keeney, 1986; Cates and Keeney, 1987); secondo Duxbury and Mc Connaughey (1986) la comparabilità delle perdite di N_2O dal suolo per nitrificazione con quelle derivanti dalla somministrazione di nitrati è particolarmente evidente nel caso della fertilizzazione con urea. Recentemente altre fonti biologiche di protossido di azoto nel suolo sono state riscontrate da Bleakley and Tiedje (1982) e da Robertson and Tiedje (1987) e, sebbene non completamente identificate, sono state riferite alla biomassa fungina o a particolari gruppi di microrganismi (Smith and Zimmerman, 1981).

Come è stato accennato sopra, il suolo fornisce non solo le fonti ma anche gli scarichi biologici attraverso i quali l' N_2O viene trasformato e riassorbito o ridotto e svolto in forma di azoto elementare; tali scarichi operano spesso contemporaneamente alle sorgenti e il loro diverso grado di attività può essere una delle spiegazioni

delle ampie fluttuazioni riscontrabili nelle misurazioni eseguite nel corso del tempo sullo stesso suolo o contemporaneamente in suoli diversi. Tra i fattori capaci d'influire sull'emissione o meno di N_2O dal suolo hanno rilevanza indiscussa il contenuto di sostanza organica, la concentrazione dei nitrati, la temperatura del suolo e il suo contenuto idrico, (Arcara et al., 1985; Ryden and Rolston, 1983; Rolston, 1981; Firestone et al., 1980; Bremner et al., 1980; Terry and Tate, 1980; Ryden and Lund, 1980; Goodroad and Keeney, 1984 a).

La sostanza organica debolmente umificata riduce fortemente la liberazione di N_2O dal terreno promuovendo la completa riduzione dei nitrati ad azoto mentre alte concentrazioni di nitrato nel suolo sono state indicate come causa dello sbilanciamento del rapporto N_2O/N_2 (i due prodotti terminali della denitrificazione) a favore dell' N_2O . Temperatura elevata e saturazione idrica del suolo attivano generalmente la completa denitrificazione del nitrato ma fasi alterne di umidificazione ed essiccazione determinano sovente elevati picchi di emissione di N_2O al pari delle basse temperature di fine inverno coincidenti con la fase del disgelo dei terreni (Goodroad and Keeney, 1984 b). Inoltre lo svolgimento di N_2O dei processi di nitrificazione può essere intensificato dalla scelta del fertilizzante ammoniacale: impiegando ammoniaca anidra e letame immaturo (Christiansen, 1983; Breitenbeck and Brenner, 1986) sono state registrate perdite di N_2O assai più elevate che con urea e nitrato ammonico.

3. LA DETERMINAZIONE DELL' N_2O : METODI E DISPOSITIVI

La breve rassegna soprariportata delle cause di variazione nel flusso di N_2O dal terreno dà un'idea approssimativa delle difficoltà connesse con la grande variabilità spaziale del fenomeno cui si aggiunge anche il problema dei cicli giornalieri diversificati (Blackmer et al., 1982) ma ciononostante la semplificazione analitica consentita dai notevoli progressi effettuati nel corso degli anni '70 nel campo dei dispositivi e dei materiali per l'analisi gascromatografica ha favorito il moltiplicarsi delle ricerche in questo settore (Ryden e Rolston, 1983).

Pur esistendo teoricamente una buona possibilità di scelta nei dispositivi adottabili per la separazione e la rivelazione dell' N_2O per via gascromatografica, si può affermare che a tutt'oggi le colonne riempite con poropak Q e abbinata o meno con altre impaccate con setacci molecolari 5 Å sono tra le più idonee e le più diffuse nei laboratori impegnati in questo tipo d'indagini e i detector utilizzati, tra quelli possibili, sono prevalentemente due, quello a cattura di elettroni (EC) e quello a conduttività termica (TC). Se il rivelatore EC dispone dell'innegabile vantaggio di una più elevata sensibilità e quindi della possibilità di dosaggio di minime concentrazioni di

N_2O , non devono essere però trascurati i grandi meriti del rivelatore a² conduttività termica consistenti in una grande stabilità, facilità di ripetizione delle analisi e estrema semplicità operativa che possono consentire la raccolta di dati affidabili anche in condizioni non ideali di qualificazione dell'operatore.

La limitata sensibilità del rivelatore TC, inadatto a misure di concentrazione dell' N_2O inferiori a 15-20 ppm, ne impedisce l'uso quando si debbano effettuare misure puntuali in suoli non stimolati a sviluppare i processi di nitrificazione e di denitrificazione (mancanza di elementi fertilizzanti e di sostanza organica, eccessiva disidratazione ecc.) o su campioni molto esigui (pochi grammi di suolo) ma l'inconveniente può essere superato effettuando, come diremo tra poco, la concentrazione del gas su setacci molecolari (Ryden et al., 1979 a).

Come gran parte delle determinazioni relative all'attività biologica del suolo anche la valutazione delle perdite di N_2O dal terreno può essere eseguita alternativamente tramite misure "in situ" sul terreno indisturbato o con rilievi condotti in laboratorio su campioni sottoposti a manipolazione delle caratteristiche strutturali originarie. Al di là di differenze legate al grado più o meno elevato di sofisticazione dei dispositivi adottati (Denmead, 1979; Ryden et al., 1979 a; Matthias et al., 1980; Wickramasinghe et al., 1978; Hutchison and Mosier, 1981), entrambe le metodiche sopraddette possono essere sviluppate nell'ambito di due sistemi di raccolta dei campioni gassosi: il sistema a flusso continuo e il sistema statico. Mentre il sistema statico offre il vantaggio di una maggiore semplicità di realizzazione dell'apparecchiatura necessaria, l'applicazione del flusso continuo d'aria al dispositivo per le misure "in situ" permette di ridurre al minimo l'alterazione dell'atmosfera soprastante la superficie del suolo preso in esame e di raccogliere in breve tempo (2-3 ore d'incubazione) quantità di protossido d'azoto facilmente analizzabili con un gascromatografo munito di rivelatore TC.

Gli elementi fondamentali per le determinazioni "in situ" e in flusso d'aria dell' N_2O emesso dal terreno sono dati dalla camera d'incubazione, ossia da² un cilindro metallico del diametro di 40 cm, chiuso superiormente con una copertura trasparente mobile, infisso nel terreno alla profondità di 5-10 cm e munito di due rubinetti laterali per consentire il passaggio di un flusso continuo d'aria al suo interno, prodotto da una pompa aspirante collegata con uno dei rubinetti. Tra il cilindro e la pompa vanno inserite alcune trappole chimiche (ascarite o cloruro di calcio e idrossido di potassio) destinate a bloccare l'anidride carbonica svolta dal suolo durante la prova e un letto di setacci molecolari 5 Å per la raccolta dell' N_2O , (Ryden et al., 1979 a, 1979 b; Arcara e Sparvoli 1982). L'eliminazione della CO_2 è necessaria per evitare la sovrapposizione, nel corso dell'analisi gascromatografica con colonne di poropak Q, del suo picco con quello

dell' N_2O .

I² setacci molecolari arricchiti di N_2O possono essere conservati in contenitori chiusi e la liberazione del gas va effettuata al momento dell'analisi idratando i setacci sotto vuoto (Ryden et al., 1979 a).

Il metodo sopraddetto, da noi utilizzato ripetutamente nello studio di perdite di azoto come protossido da colture di grano e in prati artificiali, è risultato penamente soddisfacente, relativamente economico e, corredando l'apparecchiatura di un piccolo generatore portatile di corrente, di semplice esecuzione e applicabilità in qualunque ambiente; molto adatto per terreni sciolti e per colture non soggette a frequenti operazioni colturali, il metodo presenta alcuni limiti nelle colture interessate da frequenti passaggi di macchine operatrici o in terreni caratterizzati dalla ricorrente comparsa di vistose crepacciature.

La tecnica dell'esposizione della superficie del terreno ad un piccolo flusso continuo di aria e della raccolta e concentrazione dell' N_2O sviluppato su setacci molecolari è applicabile con successo anche in laboratorio (Arcara et al., 1985).

Il dispositivo è costituito da una bottiglia di vetro a collo largo da 1000 ml con tappo a vite a tenuta di gas, opportunamente modificata con l'inserzione di due rubinetti laterali e un setto perforabile sul coperchio, contenente il terreno in esame (almeno 300 g), un sistema di trappole per la trattenuta dell'umidità e della CO_2 e un letto di setacci molecolari 5 Å per la cattura dell' N_2O . L'aria viene fatta fluire con continuità per dieci giorni attraverso i vari elementi del dispositivo collegati l'uno all'altro nell'ordine sopraddetto, utilizzando una bombola come fonte di erogazione ed un flussimetro di precisione che ne regola la portata (30-35 ml/min.); il campionamento e la sostituzione dei setacci vengono eseguiti ogni 24-48 h.

Questo metodo consente una precisa valutazione sia quantitativa che qualitativa dell' N_2O liberato dal terreno in condizioni controllate ed è particolarmente utile quando si voglia studiare la reazione di vari tipi di suolo all'aggiunta di vari composti quali fertilizzanti minerali e organici, estratti umici, erbicidi ecc. I suoi limiti sono costituiti solo dalla lunghezza del tempo di svolgimento e da una certa laboriosità di preparazione del dispositivo.

Una metodica che rappresenta una situazione di compromesso tra quella di pieno campo sul suolo indisturbato e quella di laboratorio su campioni più o meno profondamente manipolati è quella basata sull'impiego di carote prelevate con il minor disturbo possibile delle caratteristiche strutturali e rapidamente incubate in contenitori chiusi, a temperature analoghe a quelle del suolo, (Tiedje, 1982; Ryden et al., 1987). Il contenitore, alto circa 15 cm, deve essere a tenuta di gas ed avere un setto perforabile sul coperchio per il prelievo

del campione gassoso da analizzare dopo 24 h di incubazione. Il diametro delle carote può variare da 3,5 a 7 cm: nel primo caso è opportuno disporre in ogni contenitore almeno tre carote mentre è sufficiente una sola carota se del massimo diametro indicato. Questa tecnica può essere impiegata vantaggiosamente per determinazioni puntuali ma richiede un elevato numero di ripetizioni ed è sconsigliabile per studi del processo che necessitino di incubazioni superiori alle 24 h.

Tutti i metodi sopradescritti per la misura dell' N_2O globalmente svolto dal suolo possono essere adottati per studiare le perdite di azoto riferibili al solo processo di denitrificazione a patto che siano eseguiti in presenza di acetilene che come è ben noto blocca la trasformazione dell' N_2O ad azoto molecolare ed inibisce la nitrificazione, (Smith et al., 1978; Ryden et al., 1979 a; Yoshinari and Knowles, 1976; Aulakh et al., 1984). Nel caso delle misure "in situ" la diffusione dell'acetilene nel suolo viene ottenuta con varie modalità la più usata delle quali consiste nel saturare l'atmosfera della camera d'incubazione con questo gas un'ora prima dell'inizio della prova; a quel momento la camera viene aperta, ventilata per consentire il ripristino della normale atmosfera al suo interno e quindi richiusa. Nelle prove di laboratorio in flusso si procede facendo fluire attraverso il dispositivo d'incubazione una miscela d'aria con acetilene all'1-2%, mentre nelle prove statiche con carote è sufficiente iniettare nel contenitore acetilene in quantità pari al 10% del volume libero del recipiente che contiene le carote. Nonostante il parere diverso di Ryden et al (1987), la nostra esperienza ci spinge a suggerire di effettuare l'incubazione in un'atmosfera inerte di argon.

4. ENTITA' DELLE EMISSIONI DI N_2O DAL SUOLO

L'entità delle perdite gassose di azoto, sotto forma di protossido, dai suoli agrari è tuttora valutabile solo in via provvisoria in ragione della limitatezza delle indagini condotte rispetto alla grande variabilità spaziale del fenomeno e delle molte interazioni che esso può avere con i fattori della produzione (fertilizzazione, irrigazione, ecc.) tuttavia molti dati attualmente disponibili (Mosier and Hutchison, 1981; Cates and Keeney, 1987; Duxbury and Mc Connaughey, 1986) inducono a ritenere che i fertilizzanti minerali azotati (esclusa l'ammoniaca anidra) provochino mediamente perdite di azoto, come N_2O , non superiori al 3% del totale somministrato mentre valori più elevati possono verificarsi in conseguenza di diverse modalità di irrigazione (Terry et al., 1986) e, soprattutto, con i fertilizzanti organici che possono dare origine a perdite di azoto in forma di N_2O pari al 10% del totale.

I risultati da noi ottenuti in alcuni ambienti italiani in una serie di indagini svolte nell'ambito del progetto finalizzato IPRA

del CNR concòrdano con le più recenti indicazioni della letteratura internazionale relativamente alle emissioni di N_2O da colture fertilizzate con urea o con nitrato ammonico (Arcara e al., in stampa), mentre sono meno direttamente riferibili a quelli degli Autori anglosassoni nel caso dei fertilizzanti organici. Infatti la somministrazione di liquami a colture foraggere (Arcara e Spallacci, in stampa) ha dato origine a emissioni di N_2O elevatissime nei primi dieci giorni dallo spandimento ma successivamente le perdite si sono bruscamente attenuate e complessivamente non hanno superato il 10% dell'azoto minerale del fertilizzante. Tali perdite, comunque, sono risultate ben più consistenti di quelle verificate con l'impiego di letame maturo o di molti materiali organici compostati, a differenza di quanto osservato da Duxbury et al. (1981) e da Christiansen (1983).

Infine abbiamo rilevato risultati estremamente variabili in funzione del tipo di suolo e di estratto, saggiando in laboratorio l'aggiunta al terreno di estratti umici e riteniamo che considerazioni più significative su tali composti potranno essere fatte solo dopo una precisa definizione, a livello industriale, dei procedimenti di estrazione e di purificazione.

5. BIBLIOGRAFIA

- Arcara P.G. e E.Sparvoli. -1982.- Biological fertility valuation in the meadows: in situ assay of nitrogen fixation and denitrification.-In: Evolution du niveau de fertilitè des sols dans differents systemes de culture. F.Lanza ed. I.S.A. Bari; 89-98.
- Arcara P.G., M.Gispert, F.Prignano. - 1985 - Denitrification, organic matter and physico-chemical properties in four italian soils.- In: Current perspectives in Environmental Biogeochemistry -G. Giovannozzi & P. Nannipieri eds. I.P.R.A., Roma.
- Arcara P.G., E.Gregori, N.Miclaus - in stampa - Denitrificazione e perdite di azoto (N_2O) da suoli a grano fertilizzati con urea, nitrato ammonico e letame.
- Arcara P.G., P.Spallacci - in stampa - Perdite gassose di azoto (N_2O) da suoli argillosi a prato fertilizzati con azoto minerale e organico.
- Aulakh M.S., D.A.Rennie and E.A.Paul - 1984 - Acetylene and N-serve effects upon N_2O emissions from NH_4^+ and NO_3^- treated soils under aerobic and anaerobic conditions.- Soil Biol.Biochem. 16,4; 351-356.
- Blackmer A.M., S.G.Robbins and J.M.Bremner - 1982 - Diurnal variability in rate of emission of nitrous oxide from soils - Soil Sci.Soc.Am.J., 46; 937-942.

- Bleakley B.H. and J.M.Tiedje - 1982 - Nitrous oxide production by organisms other than nitrifiers or denitrifiers - Applied and Environmental Microbiology, 44; 1342-1348.
- Breitenbeck G.A., A.M.Blackmer and J.M.Bremner - 1980 - Effects of different nitrogen fertilizers on emission of nitrous oxide from soil - Geophys.Res.Letter, 7; 85-88.
- Breitenbeck G.A., J.M.Bremner - 1986 - Effects of various nitrogen fertilizers on emission of nitrous oxide from soil - Biol.Fert.Soils, 2; 195-199.
- Bremner J.M., S.G.Robbins and A.M.Blackmer - 1980 - Seasonal variability in emission of nitrous oxide from soil - Geophys.Res.Lett. 7; 641-644.
- Bremner J.M. and A.M.Blackmer - 1981 - Terrestrial nitrification as a source of atmospheric nitrous oxide - In: Denitrification, nitrification and atmospheric nitrous oxide - C.C.Delwiche ed. J.Wiley & Sons, New York; 151-170.
- Bremner J.M., G.A.Breitenbeck, A.M.Blackmer - 1981 - Effect of anhydrous ammonia fertilization on emission of nitrous oxide from soils - J.Environ. Qual. 10; 77-80.
- Cates R.L. jr. and D.R.Keeney - 1987 - Nitrous oxide production throughout the year from fertilized and manured maize fields - J.Environ. Qual. 16; 443-447.
- Christiansen S. - 1983 - Nitrous oxide from a soil under permanent grass: seasonal and diurnal fluctuations as influenced by manuring and fertilization - Soil Biol. Biochem, 15; 531-536.
- Council for Agricultural Science and Technology - 1976 - Effect of increased nitrogen fixation on stratospheric ozone - CAST Report n°53, Iowa State Univ., Ames IA.
- Crutzen P.J., D.H.Ehhalt - 1977 - Effects of nitrogen fertilizers and combustion on the stratospheric ozone layer - Ambio, 6; 112-117.
- Delwiche C.C. - 1981 - The nitrogen cycle and nitrous oxide - In: Denitrification, nitrification and atmospheric nitrous oxide - C.C.Delwiche, ed. - J.Wiley & Sons, New York; 1-15.
- Denmead O.T. - 1979 - Chamber systems for measuring nitrous oxide emission from soils in the field - Soil Sci.Soc.Am.J., 43; 89-95.
- Duxbury J.M., D.R.Bouldin, R.E.Terry and R.t. Tate - 1981 - Emissions nitrous oxide from soils - Nature, 298; 462-464.
- Duxbury J.M. and P.K.Mc Connaughey - 1986 - Effect of fertilizer source on denitrification and nitrous oxide emissions in a maize-field

- Soil Sci.Soc.Am.J. 50; 644-648.
- Freney J.R., Denmead O.T. and Simpson J.R. - 1979 - Nitrous oxide emission from soils at low moisture contents - Soil Biol.Biochem. 11; 167-173.
- Firestone M.K., R.B.Firestone and Tiedje J.M. - 1980 - Nitrous oxide from soil denitrification: factors controlling its biological production - Science 208; 749-751.
- Goodroad L.L., D.R.Keeney - 1984 a - Nitrous oxide production in aerobic soils under varying pH, temperature and water content - Soil Biol.Biochem. 16; 39-43.
- Goodroad L.L., D.R.Keeney - 1984 b - Nitrous oxide emissions from soils during thawing - Can.J. Soil Sci., 64; 187-194.
- Hahn J. and C.Junge - 1977 - Atmospheric nitrous oxide: a critical review. Naturforsch - 32; 190-192.
- Hutchinson G.L. and A.R.Mosier - 1981 - Improved soil cover method for field measurement of nitrous oxide fluxes - Soil Sci.Soc.Am.J., 45; 311-316.
- Liu S.C., R.J.Cicerone, T.M.Donahue, W.L.Chameries - 1977 - Sources and sinks of atmospheric N_2O and the possible ozone reduction due to industrial fixed nitrogen fertilizers - Tellus, 29; 251-263.
- Matthias A.D., A.M.Blackmer, J.M.Bremner - 1980 - A simple chamber technique for field measurement of emissions of nitrous oxide from soils - J.Environ.Qual., 9; 251-257.
- Mc Elroy M.B., J.W.Elkins, S.C.Wofsy, Y.L.Young - 1976 - Sources and sinks for atmospheric N_2O - Rev.Geophys.Space Phys. 14; 143-150.
- Mosier A.R., G.L.Hutchinson - 1981 - Nitrous oxide emissions from cropped fields - J.Environ.Qual., 10; 169-173.
- Robertson G.P., J.M.Tiedje - 1987 - Nitrous oxide sources in aerobic soils: nitrification, denitrification and other biological processes - Soil Biol.Biochem, 19; 187-193.
- Rolston D.E. - 1981 - Nitrous oxide and nitrogen gas production in fertilizer loss - In: Denitrification, nitrification and atmospheric nitrous oxide - C.C.Delwiche ed., J.Wiley & Sons, New York.
- Ryden J.C., L.J.Lund, D.D.Focht - 1979 a - Direct in - field measurement of nitrous oxide flux from soils - Soil Sci.Soc.Am.J. 42; 731-737.
- Ryden J.C., L.J.Lund, J.Letey, D.D.Focht - 1979 b - Direct measurements of denitrification loss from soils: II Development and application of field methods - Soil Sci.Soc.Am.J. 43; 110-118.

- Ryden J.C., L.J.Lund - 1980 - Nature and extent of directly measured denitrification losses from some irrigated vegetable crop production units. *Soil Sci.Soc.Am.J.*, 44; 505-511.
- Ryden J.C., D.E.Rolston - 1983 - The measurement of denitrification - In: Gaseous loss of nitrogen from plant-soil systems - J.R.Freney and J.R.Simpson, eds. -M.Nijhoff, The Hague; 91-132.
- Ryden J.C., J.H.Skinner, D.J.Nixon - 1987 - Soil core incubation system for the field measurements of denitrification using acetylene-inhibition- *Soil Biol.Biochem.* 19, 753-757.
- Sahrawat K.L., D.R.Keeney - 1986 - Nitrous oxide emission from soils - *Adv. Soil Sci.* 4; 103-148.
- Smith M.S., M.K.Firestone, J.M.Tiedje - 1978 - The acetylene inhibition method for short term measurement of soil denitrification and its evaluation using nitrogen 13 - *Soil Sci.Soc.Am.J.*, 42; 611-615.
- Smith M.S., K.Zimmerman - 1981 - Nitrous oxide production by nondenitrifying soil nitrate reducers - *Soil Sci.Soc.Am.J.*, 45; 865-871.
- Terry R.E. and R.L.Tate - 1980 - The effect of nitrate on nitrous oxide reduction in organic soils and sediments - *Soil Sci.Soc.Am.J.*, 44; 744-746.
- Terry R.E., E.N.Jellen, D.P.Breakwell - 1986 - Effect of irrigation method and acetylene exposure on field denitrification measurements *Soil Sci.Soc.Am.J.*, 50; 115-120.
- Tiedje J.M. - 1982 - Denitrification - In: *Methods of soil analysis; part 2* - A.L. Page, ed. - Am.Soc.Agronomy, S.S.S.A. publ., Madison, U.S.A.; 1011-1026.
- Wickramasinghe K.N., O.Talibudeen, J.F.Witty - 1978 - A gas flow-through system for studying denitrification in soils - *J.Soil Sci.*, 29; 527-536.
- Yoshinari T., R.Knowles - 1976 - Acetylene inhibition of nitrous oxide reduction by denitrifying bacteria - *Biochem.Biophys.Res.Commun.*, 69; 705-710.

EDITO DA:

C.S.C. Viale della Vittoria 14/b Cerea (VR) - Tel. 0442/82121

A cura di: GENEVINI PIERLUIGI e MAGGIOLO RENZO

NOTA:

La stampa degli atti delle "Giornate di studio sull'analisi del suolo" é avvenuta tramite processo fotoriproduttivo, di conseguenza la qualità grafica é legata a quella dei dattiloscritti originali pervenuti.

Vietata la riproduzione anche parziale.

Tutti i diritti sono riservati.

Prima edizione. Finito di stampare nel febbraio 1989 presso C.S.C. - Cerea (VR)