



Lectio magistralis del
Rettore Emerito
dell'Università Statale di
São Paulo (Brasile),
prof. Adolpho José Melfi

Agricoltura e cambiamenti climatici

Avendo dedicato buona parte della mia vita accademica allo studio della geochimica ambientale, questo è per me un momento

molto speciale ed è motivo di grande orgoglio ricevere questo riconoscimento da parte della Università di Trieste. Desidero ringraziare il Magnifico Rettore per l'onore che mi è stato concesso col conferimento della laurea *honoris causa* in Ingegneria dell'ambiente e per il territorio. Allo stesso, tempo desidero ringraziare il Preside della Facoltà di Ingegneria, prof. Roberto Camus, e il suo predecessore, prof. Iginio Marson, il Presidente del Corso di Studi, prof. Rinaldo Nicolich e il prof. Piero Comin-Chiaramonti, promotori di questo avvenimento.

Nel ricevere questo titolo accademico, desidero anche ricordare che questo rappresenta, più che un riconoscimento alla mia persona, un riconoscimento alla mia Università che sin dalla sua fondazione, nel 1934, ebbe forti legami con il mondo accademico e culturale italiano. In particolare, con l'Università di Trieste, l'Università di São Paulo mantiene vari accordi scientifici in differenti aree del sapere. Desidero qui ricordare solo quello che è il filo conduttore che ha portato a questo solenne momento e che ha avuto inizio nel 1981. In quell'anno, giunsero in Brasile i professori Enzo Piccirillo e Piero Comin-Chiaramonti per una missione relativa allo studio petrografico, geochimico e geodinamico delle rocce basaltiche del bacino del Paraná, e relativa campionatura. Tale Bacino rappresenta il più grande *plateau* vulcanico del nostro pianeta, le cui emissioni di lava sono

strettamente correlate alla formazione dell'Oceano Atlantico meridionale e alla separazione dei continenti sudamericano e africano.

A quel tempo io ero direttore dell'Istituto Astronomico e Geofisico e la mia principale attività di ricerca era rivolta ai processi di alterazione delle rocce vulcaniche e alla formazione dei suoli associati.

Mi fu proposto di partecipare alla fase di campionatura, cui aderii con entusiasmo, dato che la conoscenza della petrochimica di base sarebbe stata di grande utilità anche per le mie ricerche.

Non avrei mai immaginato che quei viaggi, necessari per il lavoro di campagna, sarebbero stati l'inizio di una proficua e duratura collaborazione che è durata più di vent'anni e che ha dato come risultato decine di pubblicazioni su riviste internazionali, cui hanno collaborato giovani ricercatori sia di Trieste che della Università di São Paulo, e un volume relativo agli aspetti generali del magmatismo Mesozoico del bacino del Paraná.

Nel frattempo, non ho mai abbandonato la mia linea di ricerca originale, dato che a tutt'oggi la geochimica di superficie resta la mia principale occupazione, ma attualmente con un indirizzo più specifico riguardante l'ambiente e, in particolare, il trattamento dei prodotti fognari per l'agricoltura e l'impatto che l'uso agricolo dei terreni tropicali può produrre nelle variazioni climatiche.

Il suolo è uno dei principali componenti della biosfera continentale. Si tratta di un corpo “vivo” che nasce, si evolve, arriva a maturità e declina. Questo declino, che definisce la degradazione del suolo, può essere molto lento o molto rapido, se il suolo viene sottoposto a pratiche agricole non adeguate.

Per molto tempo il suolo è stato studiato come un corpo statico e immutabile, mediante la determinazione delle sue proprietà, come ad esempio struttura, composizione etc. È ciò che noi definiamo anatomia del suolo. Tuttavia, oggi sappiamo che, essendo il suolo un corpo funzionale, lo studio dei meccanismi evolutivi è fondamentale: è lo studio della fisiologia del suolo.

L'uso inadeguato del suolo, soprattutto quando non venga considerato il comportamento idro-bio-geochimico, può portare alla degradazione, talora irreversibile, che alla lunga interessa la qualità della vita di tutta l'umanità.

Attualmente, circa il 22% dei suoli agricoli, foreste e pascoli stanno soffrendo processi di degradazione. Parlando di degradazione tropicale, nelle aree dove sono situati i suoli più vecchi del pianeta, la degradazione naturale del suolo è potenzialmente più intensa e l'uso inadeguato porta a conseguenze più gravi.

Illustrerò sinteticamente le relazioni tra l'uso dei terreni tropicali in agricoltura e il controllo esercitato nel ciclo dei gas responsabili dell'effetto serra. Sappiamo che sulla base di un'ottimizza-

zione delle colture agricole, il suolo possiede una grande capacità nel sequestrare il carbonio e altri gas responsabili dell'effetto serra, con il risultato di ridurre le emissioni nell'atmosfera. Tuttavia, sino ad oggi questo potenziale non viene tenuto in debita considerazione dai responsabili politici preposti all'ambiente. A causa anche dell'aumento esponenziale della popolazione, il mondo sta attualmente soffrendo una vera crisi ambientale. A prescindere dai rischi vulcanico e sismico, sono sempre più frequenti e di maggiore intensità le catastrofi relazionate a fenomeni franosi, allo stoccaggio dei rifiuti urbani, industriali e tossici, all'inquinamento atmosferico e alla degradazione della qualità delle risorse idriche.

Uno dei rischi di maggiore preoccupazione per la nostra società, è rappresentato dal riscaldamento globale, dato che gli effetti, in proiezione, si presentano catastrofici per l'ambiente: il riscaldamento globale provocherà eventi climatici estremi, a causa delle modifiche degli *standard* delle precipitazioni, delle modifiche della tempe-



ratura e dell'aumento del livello del mare. Gli effetti avranno un forte impatto sulla salute umana, sulla qualità delle acque, sulla biodiversità etc. Infatti, potranno verificarsi riduzioni sensibili della temperatura nelle regioni tropicali, inondazioni in regioni dove questo fenomeno non è mai avvenuto, siccità in aree considerate tropicali umide, come, ad esempio, è accaduto l'anno scorso nella Amazonia equatoriale, ed innalzamento del livello marino, causa della sommersione di isole e regioni litoranee.

A questo punto, illustrerò brevemente il concetto di riscaldamento globale e la sua relazione con l'emissione di gas a effetto serra, cioè vapore acqueo, anidride carbonica, ossidi di azoto, metano e altri, attribuibili alle attività industriali e urbane, soprattutto a causa della combustione dei combustibili fossili. L'effetto serra è anche un fenomeno naturale che rende la Terra un pianeta abitabile. Sappiamo che i gas a effetto serra sono contenuti nell'atmosfera e la radiazione solare (di corta lunghezza d'onda) attraversa facilmente l'atmosfera, raggiungendo la superficie del nostro pianeta. Parte di questa energia viene re-irradiata nell'atmosfera come radiazione infrarossa (maggiore lunghezza d'onda) e i gas responsabili dell'effetto serra assorbono in parte questa radiazione, evitando che lasci l'atmosfera, disperdendosi nello spazio, e così si ha il riscaldamento della atmosfera. È proprio questo processo che permette alla superfi-

cie della Terra di avere una temperatura media di 15 gradi centigradi. È stato calcolato che senza questi gas la temperatura sarebbe di circa 33 gradi inferiore, con una media dell'ordine di -18 gradi. Il consumo di combustibili fossili, in particolare carbone e petrolio, introduce nell'atmosfera importanti quantità di ossidi di azoto, anidride carbonica e metano, i quali assorbono facilmente la radiazione infrarossa riemessa dalla Terra, provocando un aumento della temperatura media della superficie terrestre. Pertanto, la capacità dell'atmosfera di assorbire il calore solare dipende dalla concentrazione di questi gas, sia che esistano "naturalmente", sia che vengano emessi da attività antropiche. È da sottolineare che fattori antropogenici hanno accelerato il processo di concentrazione, a partire dall'inizio dell'era industriale. Analizzando globalmente le fonti di emissione, si può osservare che il consumo di combustibili fossili (trasporti e attività industriali) è la principale causa responsabile dell'emissione di circa il 66% del totale. Per contro, l'agricoltura contribuisce per circa il 34%. Considerando i paesi industrializzati, il contributo causato dal consumo dei combustibili fossili è ancora maggiore. Forse a causa di questo fatto, è stata prestata poca attenzione alle attività agricole e all'uso dei terreni in relazione al ciclo dei gas relativi all'effetto serra.

*Influenza e ruolo dell'agricoltura tropicale
nel riscaldamento globale*

Vediamo ora in dettaglio quali possono essere gli effetti della agricoltura nei paesi tropicali relativi all'ambiente. Tornando alle fonti di gas che interessano l'effetto serra, osserviamo che il comportamento non è lo stesso se provengono dal consumo di combustibili fossili e processi industriali o da pratiche agricole. Nel primo caso, l'anidride carbonica è dominante, con metano e ossidi di azoto subordinati. Per contro, in agricoltura, il metano è il principale gas, causato dalla coltivazione di cereali, in particolare il riso, e dall'allevamento animale. Per quanto riguarda l'utilizzazione dei suoli agricoli, questa attività, come già detto, contribuisce per il 34% alla produzione dei gas a effetto serra che, nel bilancio totale dell'atmosfera, rappresentano il 22% dell'anidride carbonica, il 55% di metano e l'80% di ossidi di azoto dell'atmosfera.

Nei paesi tropicali, dove sono localizzate le maggiori foreste del mondo, il cambiamento dell'uso dei suoli, soprattutto a causa del-



l'espansione delle frontiere agricole che riducono drasticamente le aree boschive (deforestazione, incendi), le pratiche agricole rappresentano il principale contributo al riscaldamento globale. Pertanto, l'utilizzo razionale dei suoli, mediante sistemi adattati ai paesi tropicali, può costituire il mezzo più adeguato e conservativo per minimizzare gli effetti dell'emissione di gas a effetto serra nell'atmosfera, e, allo stesso tempo, per tentare di sequestrare questi gas nel suolo e nella vegetazione. Se analizziamo i dati disponibili, possiamo capire l'importanza che l'agricoltura può assumere nel controllare gli effetti del riscaldamento globale. Infatti, se nei paesi industrializzati l'utilizzazione di combustibili fossili produce sino al 78% di gas, in paesi come il Brasile questa scende ad appena il 25%. Per contro, l'agricoltura può essere responsabile di produzione di gas sino al 75%. Pertanto, considerando l'emissione di gas che interessano l'effetto serra, il Brasile, che occupa il diciassettesimo posto nella classifica mondiale dei paesi produttori di tali gas, passa al quinto posto, se si considerano le emissioni dovute alla deforestazione e all'agricoltura.

Impatto del riscaldamento globale nell'agricoltura

Il suolo, materiale che serve da supporto per la crescita vegetale, può svolgere un ruolo fondamentale nel controllo del ciclo dei

gas a effetto serra. Il suolo è un materiale idratato, formato da materia solida (45% minerale e 5% organica) e materia fluida (20-30% di acqua e 20-30% di aria), la quale ne riempie le porosità.

Nonostante la piccola quantità di materia organica (5%), il suolo, inteso come disfacimento del substrato cristallino, rappresenta un grande fornitore di materia organica, soprattutto per il fatto di rappresentare grandi spessori, specie nelle regioni tropicali. Nell'atmosfera, il contenuto di carbonio è di 730 Picogrammi (Pg), nella vegetazione varia da 470 a 655 Pg. In dettaglio, nel suolo, considerando uno spessore di circa un metro, il contenuto di carbonio varia da 1.500 a 2.000 Pg. Soltanto nei primi 30 centimetri, dove si verificano i principali processi di trasferimento di materia organica, la quantità di carbonio raggiunge 800 Pg. Nella dinamica funzionale dell'ecosistema, il suolo può essere responsabile sia dell'emissione di anidride carbonica, aumentando il contenuto di questo gas nell'atmosfera, sia della cattura di anidride carbonica, riducendo quindi il contenuto nell'atmosfera.

Ne consegue che pratiche agricole adeguate possono rappresentare un grande potenziale per aumentare la cattura di carbonio, e di conseguenza per diminuire le emissioni di anidride carbonica e altri gas a effetto serra. Ad oggi, questo potenziale non è stato ancora debitamente riconosciuto, nonostante questa dinamica sia estremamente importante dal punto di vista ambientale.

Da sottolineare che, se la concentrazione di anidride carbonica raddoppiasse nell'atmosfera, le variazioni di temperatura nella superficie terrestre provocherebbero un cambiamento brusco e drastico della produzione degli alimenti. Regioni fredde dell'emisfero settentrionale, attualmente non adatte alle produzioni agricole, sarebbero favorite, mentre altre regioni ad alta produzione agricola, avrebbero perdite considerevoli. Nel caso del Brasile queste perdite sono stimate dell'ordine del 10%, e sino al 30% in molti paesi africani.

Strategie per mitigare l'emissione dei gas a effetto serra

Diminuzioni del contenuto di materia organica del suolo, con conseguente aumento di emissioni di gas a effetto serra nell'atmosfera, si sono avute a causa della deforestazione su larga scala per ottenere nuove aree da destinare all'agricoltura. Infatti, nel sottobosco, il contenuto di carbonio, mantenuto a causa della costante incorporazione di materia organica proveniente dalla caduta delle foglie, viene drasticamente ridotto con la deforestazione. La pratica diffusa per la deforestazione del "taglia e incendia", trasferisce nell'atmosfera da cento a duecento tonnellate di carbonio per ettaro (dalla biomassa forestale alla atmosfera), con conseguente aumento nell'atmosfera di anidride carbonica, metano e ossidi di azoto.



Cosa si può fare per ridurre la concentrazione di questi gas nell'atmosfera?

Possiamo sia ridurre l'emissione di gas, sia aumentare il sequestro di carbonio. Esistono diverse pratiche agricole che possono mitigare, o anche eliminare, l'emissione di gas a effetto serra. In Brasile si sono sperimentate e sviluppate diverse tecniche al fine di diminuire il riscaldamento globale. Ne vedremo solo tre, importanti per il mio Paese: 1. Sistema della piantagione diretta (*no-tillage*) 2. Applicazione dei residui fangosi dei liquami 3. Modifiche del sistema di coltivazione della canna da zucchero.

Sistema di piantagione diretta (no-tillage)

Nel sistema convenzionale, l'azione delle macchine agricole utilizzate per la raccolta provoca l'immissione nell'atmosfera di una grande

quantità di anidride carbonica, mentre col sistema *no-tillage* il terreno viene scarsamente rimosso e le foglie tagliate vengono lasciate come residuo. Questo si decompone, aumentando la quantità di carbonio nel suolo, e, di conseguenza, liberando nell'atmosfera una minore quantità di anidride carbonica. Pertanto, questo è un sistema che induce non solo una riduzione di emissioni, ma anche un sequestro di carbonio. Il potenziale relativo al sequestro di carbonio nei suoli calcolato da Lai et al. per regioni a clima semi-arido varia da 0,05 a 0,2 tonnellate di carbonio per ettaro per anno; in regioni a clima temperato si ha un sequestro da 0.1 a 0.5 tonnellate di carbonio per ettaro per anno. Six et al. calcolano per le regioni tropicali e temperate valori tra 0,2 e 0,4 tonnellate di carbonio per ettaro per anno. Per il Brasile, Cerri et al. presentano stime per i primi 10 centimetri di suolo dell'ordine tra 0,5 e 0,7 tonnellate di carbonio per ettaro per anno.

L'utilizzo del sistema *no-tillage* in Brasile viene attualmente condotto su una superficie di 20 milioni di ettari, il che significa una riduzione di 10 milioni di tonnellate di carbonio immesso nell'atmosfera. Oltre a ciò, questo sistema economizza 15 chilogrammi di carbonio per ettaro per anno, a causa del risparmio di combustibile fossile derivante dall'abbandono di macchinari agricoli pesanti utilizzati nella raccolta, come accade nel sistema convenzionale. Questa ulteriore economia rappresenta anche un risparmio aggiuntivo di 300.000 tonnellate di carbonio. In questo modo l'adozione del siste-

ma *no-tillage* contribuisce al sequestro del carbonio da parte dei suoli e alla riduzione di emissioni nell'atmosfera. Inoltre, è possibile recuperare nei suoli la concentrazione di carbonio perduto a causa della deforestazione. Anche nel ciclo dell'agricoltura convenzionale si ha un recupero del carbonio da parte del suolo, ma è da sottolineare che il sistema *no-tillage* produce un recupero più efficace, arrivando non solo al recupero del carbonio iniziale, ma addirittura ad oltrepassarlo. In aggiunta a quanto detto, il sistema *no-tillage* contribuisce con altri vantaggi dal punto di vista ambientale, come ad esempio diminuire il rischio di erosione, aumento della biodiversità, miglioramento del ciclo idrologico, etc.

Uso dei residui fangosi dei liquami in agricoltura

Altra tecnica che comincia a diffondersi in Brasile è l'utilizzo dei biosolidi, cioè dei materiali prodotti nel trattamento dei liquami (rifiuti liquidi). Questi residui solidi pongono diversi problemi ambientali. La loro eliminazione avviene mediante tre differenti modalità: incenerimento, stoccaggio in siti predisposti (fosse biologiche), o applicazioni in agricoltura. Le prime due sono sconsigliabili, in quanto producono un importante impatto ambientale negativo, oltre agli alti costi dovuti alle spese di stoccaggio e di manutenzione dei siti. Da questo

punto di vista le applicazioni in agricoltura costituiscono l'opzione più interessante, soprattutto perché il suolo possiede un alto potere di depurazione, comportandosi come un filtro attivo, trattenendo le sostanze inquinanti e utilizzando le sostanze nutrienti per le piante. Attualmente questa tecnica viene largamente utilizzata in vari Paesi europei e negli Stati Uniti, mentre in Brasile è ancora allo stadio iniziale. Il biosolido è ricco in sostanze nutrienti: la sua composizione media è rappresentata al 30% per cento di carbonio, 3.2% di azoto, 1.4% di fosforo, 2.7% di calcio, 0.48% di magnesio e 0.23% di potassio. Il suo utilizzo in suoli tropicali degradati è molto importante, dato che ai terreni vengono aggiunti sia materia organica che nutrienti, i quali sono carenti nei suddetti terreni, e contribuiscono a una più rapida crescita della vegetazione. In più, la fotosintesi provoca una rimozione di anidride carbonica dall'atmosfera. Quindi, i biosolidi incorporati nei terreni promuovono sequestro di carbonio e riduzione di emissioni di gas, in quanto è stato interrato oppure bruciato.

Sistema della canna da zucchero

Altro esempio importante e significativo per il Brasile è rappresentato dalla coltura della canna da zucchero per la produzione di alcool. Le piantagioni di canna da zucchero possono contribuire alla

diminuzione delle emissioni di gas mediante due tipologie: la prima è relazionata alle tecniche più moderne di raccolta che promuovono il sequestro di carbonio da parte del suolo e la riduzione delle emissioni di gas; la seconda è collegata alla produzione di etanolo, che, sostituendo i combustibili fossili, riduce ulteriormente le emissioni di gas a effetto serra. La tecnica della raccolta manuale della canna da zucchero richiede la bruciatura delle foglie (cioè l'incendio della piantagione), con conseguente emissione di anidride carbonica. La raccolta meccanizzata (tecnica senza incendio), oltre a ridurre le emissioni, lascia le foglie nel terreno e la loro decomposizione promuove l'incorporazione e il sequestro di carbonio nel suolo. Il bilancio tra le due tecniche si traduce in un importante guadagno ambientale a favore della tecnica della raccolta meccanizzata, in cui la riduzione di emissioni e il sequestro di carbonio equivalgono a circa 1.800 chilogrammi di carbonio equivalente per ettaro per anno.

Attualmente, in Brasile, soltanto nel 20% delle aree coltivate viene applicata la tecnica della raccolta meccanica (circa un milione e mezzo di ettari). Potenzialmente si può applicare questa tecnica a circa il 50% delle aree coltivate (è necessario un terreno pianeggiante, con meno del 15% di pendenza per potere attuare la raccolta meccanizzata), con conseguente sequestro di carbonio da 2.7 a 3.5 milioni di tonnellate per anno.



L'altro aspetto consiste nel contributo alla riduzione delle emissioni, mediante la produzione di etanolo. Il consumo di combustibili fossili produce una determinata quantità di anidride carbonica che viene immessa nell'atmosfera, contribuendo al riscaldamento globale. Anche l'utilizzo di alcool derivante dalla canna da zucchero come carburante comporta emissioni di anidride carbonica nell'atmosfera, ma in quantità molto più ridotte (la combustione di alcool è molto più pulita della benzina). Inoltre, queste emissioni vengono utilizzate nei processi di fotosintesi dalle piantagioni seguenti (ciclo continuo e chiuso).

La produzione di alcool in Brasile tra il 1975 e il 2000 fu di 227 milioni di metri cubi (anidro e idratato). Questa produzione di alcool, che per 25 anni ha sostituito il combustibile fossile corrispondente, rappresenta 173 milioni di tonnellate di carbonio non introdotte nell'atmosfera. In altre parole, sono stati risparmiati 173 milioni di tonnellate di carbonio. Oltre a ciò l'industrializzazione della canna da zucchero produce come sottoprodotto il *bagazo* (residui fibrosi),

che può essere anche utilizzato come combustibile, riducendo le emissioni di ulteriori 8 milioni di tonnellate di carbonio, nel periodo considerato. Le tecniche illustrate comportano una riduzione delle emissioni di 21 milioni di tonnellate di carbonio per anno. Da rilevare che questo sistema viene realizzato esclusivamente in Brasile, che esporta alcool in diversi paesi del mondo e, pertanto, il guadagno ambientale è ancora maggiore.

Considerazioni finali

Attualmente i cambiamenti nell'uso dei terreni e le coltivazioni agricole portano alla emissione di grandi quantità di gas a effetto serra e a incorporare nei suoli relativamente piccole quantità di carbonio. Con l'obiettivo di modificare questa situazione, possono essere adottate condizioni ideali non solo atte a ridurre l'emissione di gas, ma anche idonee a favorire il sequestro di carbonio nei suoli e i residui vegetali.

Ciò è largamente possibile mediante l'uso di tecnologie appropriate come la piantagione diretta, la raccolta meccanizzata, senza incendio, della canna da zucchero, e l'introduzione di biosolidi in agricoltura. Queste condizioni ideali, oltre a contribuire alla riduzione dell'impatto negativo degli effetti delle variazioni climatiche glo-

bali sulle future generazioni, costituiscono anche un'opportunità per il Brasile di entrare in modo più determinante nel “mercato del carbonio”. In questo mercato, un credito di carbonio (1CER) è proporzionale a una tonnellata equivalente di anidride carbonica che non è stata emessa nell'atmosfera o sequestrata dai terreni e può essere venduta per un corrispondente valore da 3 a 5 dollari. In altre parole, ogni tonnellata di anidride carbonica può essere venduta, sul mercato del carbonio, ai Paesi che hanno difficoltà a creare tali situazioni.