



IMPRONTA CARBONICA AZIENDE AGRICOLE ITALIANE



a cura di Silvia Coderoni e Guido Bonati

ISTITUTO NAZIONALE DI ECONOMIA AGRARIA

Impronta Carbonica Aziende Agricole Italiane (ICAAI)

a cura di Silvia Coderoni e Guido Bonati

INEA, ROMA 2013

Il presente lavoro è stato realizzato nell'ambito delle attività del progetto "Scenari di Cambiamenti climatici per gli allevamenti Italiani" finanziato dal Ministero delle Politiche Agricole Alimentari e Forestali con D.M. 21068 del 24 Settembre 2010 .

Responsabile di progetto: Silvia Coderoni (coderoni@inea.it)

Il documento è a cura di Silvia Coderoni e Guido Bonati.

Revisione: dott. Riccardo de Lauretis, ISPRA - Istituto Superiore Protezione e Ricerca Ambientale.

Autori:

Silvia Coderoni (Introduzione, capp.1, 2, 4 e par. 3.1),

Davide Longhitano (par. 3.4, Box 2, Box 3),

Antonio Papaleo (parr. 3.2.1, 3.2.2, 3.2.3, 3.3, Box 1),

Silvia Vanino (parr. 3.2.4, 3.2.5, 3.2.6).

La progettazione e la realizzazione informatica sia della base dati che della procedura web ICAAI è curata da Mitia Mambella della sede INEA per l'Abruzzo.

Il logo ICAAI in copertina e gli oggetti grafici della procedura web sono stati ideati da Andrea Di Cesare della sede INEA per l'Abruzzo.

Segreteria di progetto: Elisabetta Alteri

Segreteria di redazione: Roberta Capretti

Coordinamento editoriale: Benedetto Venuto

Impaginazione grafica: Ufficio Grafico INEA (Barone, Cesarini, Lapiana, Mannozi)

Il documento è disponibile sul sito www.inea.it

Collana: Politiche per l'ambiente e l'agricoltura

INEA, 2013

ISBN 978-88-8145-246-0

INDICE

ACRONIMI	5
INTRODUZIONE	7
CAPITOLO 1	
LE POLITICHE DI RIFERIMENTO	9
CAPITOLO 2	
OBIETTIVI DEL LAVORO	13
CAPITOLO 3	
LA METODOLOGIA UTILIZZATA	19
3.1 Stima dell'impronta carbonica	19
3.2 Agricoltura	23
3.2.1 4A Fermentazione enterica	23
3.2.2 4B Gestione delle deiezioni - Metano	24
3.2.3 4B Gestione delle deiezioni - Protossido di azoto	25
3.2.4 4C Risaie	29
3.2.5 4D Suoli Agricoli	30
3.2.6 4F Combustione in campo dei residui colturali	36
3.3 Energia	36
3.4 Uso del suolo	37
3.4.1 Cambiamenti d'uso del suolo: il carbonio nei suoli agricoli	37
3.4.2 Le linee guida IPCC per il calcolo degli stock di carbonio nei suoli	42
3.4.3 Adattamento della metodologia IPCC a livello aziendale: un esempio sul caso dei prati e pascoli	44
3.4.4 Calcolo del C sequestrato nel suolo a livello aziendale usando il database RICA	45
CAPITOLO 4	
ALCUNE CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE	49
BIBLIOGRAFIA	53
APPENDICE	57

ACRONIMI

ECCP	European Climate Change Programme
EF	<i>Emission Factor</i> (Fattore di emissione)
ETS	<i>Emission Trading System</i>
EU	<i>European Union</i>
GAIA	Gestione Aziendale delle Imprese Agricole
GWP	<i>Global Warming Potential</i>
IC	Impronta Carbonica
ICAAI	Impronta Carbonica Aziende Agricole Italiane
IEF	<i>Implied Emission Factor</i>
INEA	Istituto Nazionale di Economia Agraria
IPCC	<i>Intergovernmental Panel on Climate Change</i>
ISPRA	Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale
KP	Protocollo di Kyoto
LCA	<i>Life Cycle Assessment</i>
LULUCF	<i>Land Use, Land-Use Change and Forestry</i>
NIR	<i>National Inventory Report</i>
OECD	<i>Organisation for Economic Co-operation and Development</i>
PAC	Politica Agricola Comune
PP	Prati e Pascoli
RICA	Rete di Informazione Contabile Agricola
SOC	<i>Soil Organic Carbon</i>
UGE	Utente Generico
UNFCCC	<i>United Nations Framework Convention on Climate Change</i>
URI	Utente RICA

INTRODUZIONE

La stima delle emissioni dei gas climalteranti ha un ruolo fondamentale nell'ambito degli strumenti e delle politiche per fronteggiare i cambiamenti climatici, anche nel settore agricolo.

Esistono diverse metodologie per stimare le emissioni agricole di gas serra, che variano anche in base ai confini del sistema analizzato e alle finalità per cui si effettua il calcolo. Il lavoro proposto si pone l'obiettivo specifico di stimare le emissioni di gas serra derivanti dai processi produttivi che avvengono all'interno dell'azienda agricola (processi naturali, metodi di produzione, gestione delle risorse), per informare e formulare analisi di tipo settoriale e incoraggiare l'utilizzo di buone pratiche, per ridurre quella parte delle emissioni su cui l'agricoltore ha un controllo diretto.

Tra le varie metodologie esistenti per la stima delle emissioni, per ricostruire una metodologia aziendale, si è scelto di utilizzare le linee guida IPCC (*Intergovernmental Panel on Climate Change*) poiché rappresentano uno standard riconosciuto a livello internazionale e forniscono una metodologia di default largamente applicabile, la cui efficienza è ampiamente riconosciuta. Le stesse permettono la stima di emissioni per sistemi con confini più ristretti di quelli nazionali, facendo particolare attenzione che l'oggetto della stima siano le sole emissioni e le rimozioni di gas serra che avvengono all'interno dei confini del sistema.

Inoltre, utilizzare un adattamento a livello aziendale di tale metodologia, rappresenta un importante passo avanti verso una maggiore armonizzazione delle stime, a livello nazionale (o locale) e internazionale. Attualmente infatti, la contabilizzazione delle emissioni legate alle attività agricole e forestali a livello internazionale, è regolamentata dalle linee guida IPCC e segue standard uniformi tra paesi, mentre a livello nazionale o territoriale, può avvenire in modi diversi, e basarsi su diversi indicatori.

La metodologia proposta, denominata ICAAI (Impronta Carbonica Aziende Agricole Italiane) viene sviluppata per essere utilizzata sia dagli utenti facenti parte del campione RICA (Rete di Informazione Contabile Agricola), sia da aziende agricole non ricadenti nel campione, che inserendo i dati della propria azienda in un apposito portale web, potranno conoscere una stima dell'impronta carbonica delle loro produzioni.

Uno dei maggiori pregi della metodologia proposta, anche in questa prima versione, sta nel porre l'attenzione sulla singola azienda agricola come unità di analisi, attraverso una facile raccolta dei dati di attività, unendo i tre diversi settori (Agricoltura, Uso del Suolo ed Energia) che la metodologia ufficiale IPCC stima separatamente, nell'ottica di analizzare in modo unitario gli impatti emissivi ascrivibili alla singola azienda agricola.

Inoltre, l'utilizzo della banca dati RICA, permette di calcolare degli indicatori d'intensità di emissione con riferimento a parametri economici e strutturali aziendali, portando a formulare valutazioni in termini di efficienza delle pratiche di mitigazione.

Il lavoro si compone di quattro capitoli. Nel capitolo 1 viene presentato brevemente il contesto delle politiche di riferimento per la mitigazione delle emissioni agricole; nel capitolo 2 vengono presentati gli obiettivi del progetto; nel capitolo 3 viene illustrata la metodologia utilizzata per ogni singola fonte emissiva: agricoltura, energia, uso del suolo e cambio d'uso del suolo. Nel capitolo 4 sono espone alcune considerazioni conclusive con i principali punti di forza e di debolezza della metodologia e gli sviluppi futuri di lavoro per il miglioramento delle stime.

CAPITOLO 1

LE POLITICHE DI RIFERIMENTO

La sfida dei cambiamenti climatici rappresenta per il settore agricolo un fenomeno peculiare per portata ed effetti, rispetto alla normale condizione operativa, tale da rendere indispensabile attuare una strategia di adattamento, per poter continuare a garantire la produzione di alimenti, fibre e bioenergie.

D'altra parte, in un contesto internazionale, ma soprattutto europeo, in cui si rafforzano gli impegni per mantenere l'aumento della temperatura media globale al di sotto dei 2°C (al 2050), anche al settore agricolo vengono chiesti degli sforzi di mitigazione delle emissioni di gas a effetto serra (di seguito gas serra) in atmosfera. Infatti, anche i processi produttivi legati al settore agricolo rappresentano una fonte di emissioni climalteranti, che possono essere mitigate attraverso scelte produttive e gestionali diverse. Inoltre il settore agricolo è l'unico che può rappresentare un serbatoio naturale di carbonio stoccato nei suoli e nelle biomasse agricole e forestali.

L'obiettivo delle politiche agricole, in un contesto di cambiamenti climatici, è dunque triplice: aumentare le produzioni per garantire la sicurezza alimentare per una popolazione mondiale crescente, mitigare le emissioni di gas serra e favorire l'adattamento del settore alle mutate condizioni climatiche.

Evidentemente le complesse relazioni tra i fattori fisici, economici e sociali che entrano in gioco, rendono indispensabile un approccio integrato delle politiche atte a perseguire tutti questi obiettivi, per evitare effetti controproducenti nel sistema. La stessa UNFCCC (*United Nation Framework Convention on Climate Change*) afferma che l'obiettivo di stabilizzare le concentrazioni di gas serra in atmosfera deve avvenire in tempi tali da consentire l'adattamento naturale degli ecosistemi, il mantenimento della sicurezza alimentare e uno sviluppo economico sostenibile (art. 2).

La UNFCCC rappresenta il primo accordo, a livello internazionale, che riconosce al clima globale valore di risorsa comune. Pur non avendo profilo legalmente vincolante, essa prevede dei Protocolli per la definizione dei limiti di emissione per i diversi paesi, il primo dei quali è stato il Protocollo di Kyoto (KP) ratificato

in Italia con l. 120/2002, ma entrato in vigore soltanto nel 2005 dopo la ratifica da parte della Russia¹. Il KP prescrive l'obbligo di riduzione delle emissioni di gas serra per i paesi firmatari del 5,2% rispetto alle emissioni del 1990, nel primo periodo di adempimento (2008-2012). Il burden sharing agreement comunitario ha tradotto questo impegno a livello italiano in un obiettivo di riduzione del 6,5% delle emissioni.

Oltre all'impegno internazionale, l'Europa ha caratterizzato il suo operato con politiche comunitarie di mitigazione molto ambiziose, culminate nel 2010 con l'istituzione della Direzione generale per l'Azione per il clima. Lo strumento comunitario diretto alla riduzione delle emissioni e all'adattamento è il Programma Europeo sui Cambiamenti Climatici (ECCP). All'interno del primo ECCP (2000-2004) il potenziale di mitigazione del settore agricolo era legato soprattutto alla produzione di energia da fonti rinnovabili e alla cattura e lo stoccaggio della CO₂ (anidride carbonica), opzione studiata al fine di proporre degli strumenti che potessero essere integrati nella riforma della Politica Agricola Comune (PAC).

Un elemento centrale della politica dell'Unione Europea (EU) è stato l'approvazione nel 2009 del pacchetto Clima-Energia che contiene la strategia Europa2020². Il pacchetto, inoltre, introduce il principio dell'effort sharing che, per la prima volta, stabilisce le riduzioni delle emissioni dei settori non-ETS³, tra cui l'agricoltura, attraverso la definizione di obiettivi nazionali vincolanti. Per l'Italia questi obiettivi si sono tradotti in una riduzione del 13% al 2020 delle emissioni dei settori citati rispetto al 2005.

A rafforzare il suo ruolo leader in ambito internazionale nella lotta ai cambiamenti climatici, più di recente, nell'ambito della strategia Europa 2020, la Commissione europea ha presentato l'iniziativa "Un'Europa efficiente nell'impiego delle risorse" (European Commission, 2011a). Tra i documenti al centro di questa iniziativa vi è la comunicazione "Una tabella di marcia verso un'economia competitiva a basse emissioni di carbonio al 2050" (European Commission, 2011b) predisposta per il raggiungimento dell'obiettivo di ridurre, entro il 2050, le emissioni

1 L'articolo 25 del Protocollo di Kyoto stabiliva l'entrata in vigore dello stesso 90 giorni dopo l'adesione di almeno 55 paesi, corrispondenti almeno al 55% delle emissioni dei paesi Annesso 1 al 1990. La Russia ha ratificato il Protocollo di Kyoto il 18 novembre 2004, e pertanto il Protocollo di Kyoto è in vigore dal 16 febbraio 2005.

2 Questa strategia impegna gli Stati membri a ridurre entro il 2020 le emissioni di gas serra del 20%, a portare al 20% la quota di consumo energetico da fonti rinnovabili e a ottenere un incremento del 20% dell'efficienza energetica.

3 Quei settori le cui emissioni non fanno parte dell'*Emission Trading System* (ETS) europeo, ovvero: agricoltura, trasporti, servizi, residenziale.

comunitarie dell'80-95% rispetto ai livelli del 1990. A tale obiettivo il settore agricolo dovrebbe contribuire con un'ulteriore diminuzione delle sue emissioni di una percentuale variabile tra il 42 e il 49 per cento, attraverso misure quali: incrementi (sostenibili) dell'efficienza; il recupero di biogas; un uso più razionale dei fertilizzanti; un impiego di foraggi di migliore qualità; diversificazione e commercializzazione della produzione a livello locale; una maggiore produttività del bestiame e l'ottimizzazione dei benefici dell'agricoltura estensiva.

Tra le pratiche di mitigazione è citato anche lo stoccaggio di carbonio nei suoli e nelle foreste, aumentabile perfezionando le pratiche di gestione.

Nel valutare le modalità di finanziamento per favorire la transizione verso un'economia a bassa intensità di carbonio, in particolare per l'agricoltura e la silvicoltura, la Commissione si suggerisce che debba essere stabilito un opportuno sistema di incentivi per raggiungere gli obiettivi fissati al 2050 (SEC(2011) 289).

Gli elementi esposti nella tabella di marcia saranno considerati nelle proposte legislative sulla PAC post-2013; a tal proposito, nella comunicazione della Commissione sulla futura PAC (European Commission, 2010), i cambiamenti climatici sembrano avere assunto un ruolo centrale, sia per le priorità di adattamento del settore, che per il ruolo dell'agricoltura come fornitrice di beni pubblici, tra cui la stabilità climatica.

Stando alle stime dei documenti preparatori della tabella di marcia per il 2050, l'agricoltura rappresenterà in quell'anno un terzo delle emissioni totali dell'EU (se la decarbonizzazione degli altri settori si sarà verificata); pertanto, la rilevanza del settore agricolo per la politica climatica è molto probabilmente destinata ad aumentare. Alla luce dell'importanza del settore, la necessità di considerare tutti gli usi del suolo nel loro insieme e di integrarli nella politica climatica dell'EU, è cruciale e, a questo riguardo, la Commissione ha presentato a marzo 2012, una proposta di decisione al Parlamento europeo e al Consiglio, nell'ambito della procedura legislativa ordinaria, per predisporre la contabilizzazione armonizzata delle emissioni di gas serra e degli assorbimenti nelle foreste e nei suoli dell'EU (COM(2012) 93 final). In particolare, per quanto riguarda il settore agricolo, la proposta contiene l'obbligo di contabilizzazione delle emissioni relative alla gestione dei terreni agricoli e dei prati e pascoli e impone agli Stati membri, di adottare piani d'azione nazionali per aumentare l'assorbimento del carbonio e la riduzione delle emissioni di gas serra nelle foreste e nei suoli agricoli.⁴

⁴ La proposta non contiene obiettivi nazionali di mitigazione, ma essi potrebbero essere definiti in una fase successiva una volta stabilite le norme di contabilizzazione.

CAPITOLO 2

OBIETTIVI DEL LAVORO

Il monitoraggio delle emissioni dei gas climalteranti ha un ruolo fondamentale nell'ambito degli strumenti e delle politiche per fronteggiare i cambiamenti climatici. Per adempiere agli impegni sottoscritti in ambito UNFCCC e nell'ambito del meccanismo di monitoraggio delle emissioni dell'Unione Europea, è necessario redigere annualmente l'Inventario Nazionale delle emissioni e degli assorbimenti dei gas ad effetto serra, che è lo strumento ufficiale di verifica degli impegni assunti (Condor e Vitullo, 2010).

Le maggiori difficoltà di stima delle emissioni del settore agricolo, sono dovute al fatto che si tratta di un inquinamento prevalentemente diffuso, non puntuale, caratterizzato dall'estrema varietà delle caratteristiche ambientali e dei sistemi di gestione aziendale. Pertanto sono stati sviluppati metodi di stima indiretta delle emissioni collegate ai diversi processi produttivi aziendali.

All'interno della UNFCCC, il compito di indicare una metodologia condivisa, che ha prodotto delle linee guida per la stima delle emissioni di tutti i settori produttivi, è stato conferito all'organismo tecnico scientifico della Convenzione, l'IPCC - *Intergovernmental Panel on Climate Change* (1997)⁵. Per rispondere alle esigenze di reporting dell'UNFCCC, è fondamentale che tali metodi utilizzino dati semplici e disponibili poiché devono poter essere usati in tutto il mondo.

La metodologia di stima delle emissioni si basa su un approccio per processo produttivo, utilizzato anche con la finalità di introdurre misure settoriali di mitigazione.

In Italia l'ISPRA (Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale) ha tra i suoi compiti istituzionali la stima e la trasmissione dell'Inventario Nazionale delle emissioni di gas serra, redatto utilizzando le linee guida IPCC.

⁵ Nel 1991 l'IPCC in collaborazione con l'OECD e l'Agenzia Internazionale per l'Energia (IEA), ha sviluppato una metodologia per il calcolo e il monitoraggio continuo a livello nazionale (riferito ai Paesi firmatari della UNFCCC) delle emissioni di gas serra nell'atmosfera, definendo delle linee guida al fine di costituire un inventario nazionale di gas serra (Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories). In queste sono contenute le metodologie che ogni Paese, tramite le agenzie deputate, deve seguire per la stima delle emissioni e relativi assorbimenti nei settori energetico, industriale, agricolo e di uso del suolo (Byrne e Ciccarese, 2010).

Secondo l'inventario ISPRA delle emissioni in atmosfera, il settore agricolo rappresenta in Italia la seconda fonte emissiva di gas serra, col 6,7% delle emissioni nazionali nel 2010, dopo il settore energetico (82,9%) (ISPRA, 2012).

Un approccio diverso da quello utilizzato dall'IPCC è quello del "ciclo di vita del prodotto" (*Life Cycle Assessment-LCA*), che, in pratica, stima le emissioni "dalla culla alla tomba" di un qualsiasi prodotto, attribuendo ad esso anche le emissioni relative alla produzione dei suoi input (o componenti) e quelle relative al consumo e lo smaltimento dei rifiuti ad esso collegato.

La diversità delle due metodologie (quella per prodotto - LCA e quella per processo, -IPCC), ne rende impossibile e poco utile il confronto. La scelta dell'una o dell'altra, evidentemente, dipende dallo specifico obiettivo di ricerca, o di policy, che si intende perseguire.

In generale, per analisi e politiche settoriali, come quelle agricole, sembrerebbe più idoneo stimare le emissioni che avvengono all'interno dei confini dell'azienda e sulle quali l'imprenditore agricolo ha un controllo "diretto" maggiore.

La necessità di voler utilizzare un approccio tipo LCA, invece, si basa sull'esigenza di voler stimare l'impatto dei consumi finali su una data risorsa ambientale (acqua, suolo, atmosfera, ecc). Tale approccio, che di solito segue l'intero ciclo di vita di un solo prodotto, è evidentemente molto difficile da implementare in un sistema aziendale, poiché tipicamente, nell'azienda agricola, vengono prodotte diverse tipologie di *output* (Dick *et al.* 2008). Le analisi di tipo LCA, attribuendo le emissioni al prodotto finito, individuano, per ridurre le emissioni, quelle misure volte a scoraggiare il consumo di prodotti ad alta intensità di carbonio, come l'uso di una carbon tax; tali misure andrebbero a gravare comunque sul consumatore.

Poiché l'obiettivo principale della ricerca proposta è quello di informare e formulare analisi di tipo settoriale, e non di individuare dei sentieri di consumo più sostenibili in termini di emissioni di gas serra, la metodologia utilizzata fa riferimento al calcolo dell'impronta carbonica (IC)⁶ a livello aziendale, spostando l'attenzione su emissioni e assorbimenti di gas serra all'interno del cosiddetto "*farm gate*". Il focus dell'analisi è infatti dato dai processi produttivi legati all'azienda agricola (processi naturali, metodi di produzione, gestione delle risorse) e non dai consumi di prodotti alimentari, per intervenire sui quali bisognerebbe affrontare una serie di considerazioni economiche ed etiche che esulano dai confini dell'analisi proposta.

6 Il termine traduce l'inglese *carbon footprint*. In inglese con *carbon* si abbrevia il *carbon dioxide*, ovvero l'anidride carbonica, pertanto, sarebbe più giusto parlare di impronta di anidride carbonica o meglio di emissioni di gas serra. L'IC è definibile come la misura dell'impatto di un'attività in termini di emissioni di gas a effetto serra, ovvero quei gas che sono responsabili del riscaldamento globale.

Per ottenere la stima dell'IC, occorre chiarire alcune questioni metodologiche e definitorie, spiegate brevemente di seguito.

Innanzitutto la scelta dei confini del sistema, come accennato, è ricaduta su un approccio definito al "*farm gate*". Definire i "confini" delle analisi a livello di singola azienda agricola, ovvero quali emissioni attribuire all'azienda agricola e quali ad altri processi produttivi, assume un ruolo rilevante poiché, tale scelta, può comportare differenze elevate nelle emissioni totali.

Attualmente non c'è una metodologia standard internazionale che indichi quali emissioni siano attribuibili ai produttori e quali ai consumatori. Si può distinguere, in linea generale, tra un'impronta carbonica per così dire "primaria" o diretta poiché direttamente collegata alle attività agricole come l'uso del carburante, la fertilizzazione del terreno, ecc., e una "secondaria" o indiretta collegata alle emissioni derivanti dall'intero ciclo di vita dei prodotti usati, come ad esempio, per produrre i fertilizzanti, i mangimi, ecc.. La scelta effettuata per il progetto è ricaduta su una metodologia per la stima dell'impronta carbonica diretta delle aziende agricole italiane, pertanto le stime in oggetto considereranno le sole emissioni dirette dell'azienda agricola all'interno dei suoi confini; non si terranno invece in considerazione quelle derivanti da produzione di fertilizzanti, foraggi, imballaggio dei prodotti o trasporto al luogo di consumo.

Questo approccio al "*farm gate*" ha il vantaggio di poter incoraggiare l'utilizzo di buone pratiche in ogni fase della produzione, per ridurre le emissioni su cui l'agricoltore ha un controllo diretto, e di permettere la formulazione di politiche che siano implementabili a livello aziendale (Dick *et al.*, 2008).

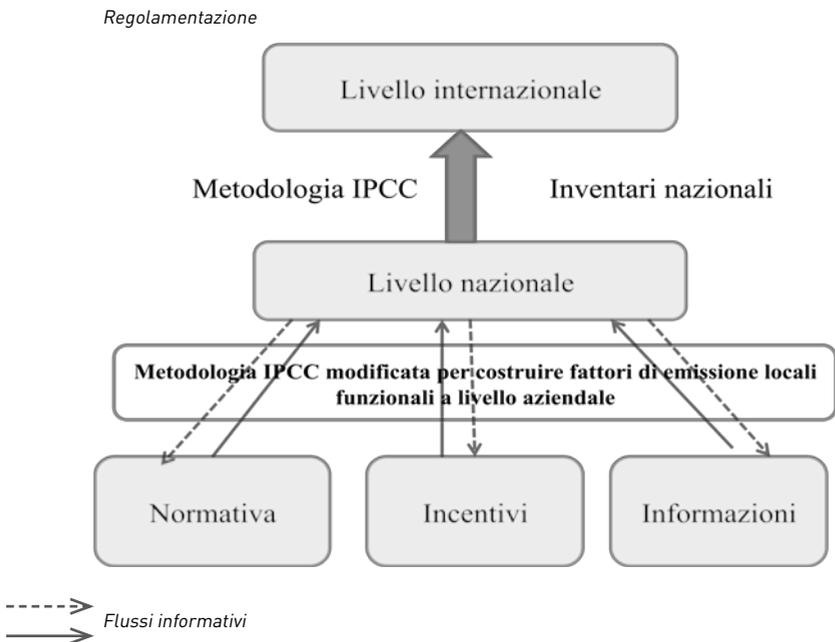
Per quanto riguarda le politiche di mitigazione, una delle questioni centrali è quella dell'affidabilità delle stime sui valori di emissione e di sequestro di CO₂ riferite alle diverse attività agricole. Attualmente i dati disponibili derivano da rilievi di poche specifiche attività sperimentali o dall'applicazione di modelli matematici. Nel primo caso si tratta di informazioni di solito abbastanza accurate che, però, hanno valore soprattutto per le condizioni pedoclimatiche in cui si è operato e quindi una trasferibilità abbastanza limitata. Nel secondo caso i dati ottenibili sono numerosi e molto ben trasferibili sul territorio, ma non sono particolarmente attendibili perché basati su assunti non sempre verificabili a causa della citata carenza di attività sperimentali.

Per ricostruire una metodologia aziendale, si è scelto di utilizzare le linee guida IPCC, poiché rappresentano uno standard riconosciuto a livello internazionale e forniscono una metodologia di default largamente applicabile, la cui efficienza è ampiamente riconosciuta. Le stesse permettono la stima di emissioni

per sistemi con confini più ristretti di quelli nazionali, facendo, in questo caso, particolare attenzione al fatto che l'oggetto della stima siano le sole emissioni e le rimozioni di gas serra che avvengono all'interno dei confini del sistema.

La scelta della metodologia IPCC nasce inoltre da una semplice considerazione sulla relazione esistente tra politiche nazionali e internazionali e sugli strumenti di policy a disposizione dei governi. Attualmente, la contabilizzazione delle emissioni legate alle attività agricole e forestali, che ha diverse finalità (informative, regolatorie, fornitura di incentivi, volontarie, obbligatorie, ecc), a livello nazionale può avvenire in modi diversi e basarsi su diversi indicatori, mentre, a livello internazionale, è regolamentata dalle citate linee guida IPCC e segue standard uniformi (in linea generale) tra paesi. Evidentemente le metodologie di stima sono importanti per tutte queste finalità, ma per far sì che i diversi livelli di intervento sul settore possano essere coerenti e efficaci, è indispensabile che si possa arrivare ad una armonizzazione delle stime, a livello nazionale o locale, sulla base di quelle internazionali opportunamente adattate, per avere una maggiore coerenza di contabilizzazione (Figura1).

Figura 1 - Relazioni tra politiche nazionali e internazionali e strumenti di policy dei governi



Fonte: Adattato da Dick et al. 2008

Evidentemente vanno in questa direzione anche la citata proposta legislativa dalla commissione (European Commission, 2012) e molti recenti strumenti⁷ utilizzati a livello internazionale o lavori con finalità simili a quelle proposte⁸. Pertanto, il primo passo dell'analisi proposta è stato l'adattamento della metodologia IPCC a livello aziendale, evidenziando così limiti e carenze della metodologia applicata a questo livello di analisi. Tuttavia tale approccio presenta un indiscutibile pregio: quello di rappresentare una facile raccolta dei dati di attività delle aziende agricole, standardizzato, utilizzabile per tutte le diverse pratiche agricole, per tutte le tipologie di aziende agrarie e su tutto il territorio nazionale.

7 Ad esempio lo strumento Ex-ACT (Ex-Ante Carbon balance Tool) della FAO nasce per contabilizzare ex-ante la riduzione delle emissioni collegata a progetti di sviluppo agricoli e forestali nei PVS (che rappresentano il 74% del potenziale di riduzione delle emissioni agricole globali). È quindi uno strumento che lavora a livello di progetti, ma può essere anche utilizzato a livello settoriale o di programma la cui metodologia di base è stata sviluppata partendo dalle linee guida IPCC, completata con altre metodologie esistenti.

8 Cfr. Dick *et al.*, 2008.

CAPITOLO 3

LA METODOLOGIA UTILIZZATA**3.1 Stima dell'impronta carbonica**

Come accennato, la costruzione della metodologia denominata ICAAI (Impronta Carbonica delle Aziende Agricole Italiane) per le emissioni di gas serra per l'azienda agricola, si basa su un adattamento della metodologia IPCC (IPCC, 1997 e 2006) a livello aziendale, utilizzando fattori di emissione tipici del territorio nazionale⁹ e dati di attività collegati alle principali attività agricole, cercando di adattare alla realtà aziendale le direttive applicate a livello nazionale e descritte nei documenti di riferimento (ISPRA, anni vari; Condor *et al.* 2008).

In via generale, la metodologia IPCC si basa sulla relazione lineare tra dati di attività e fattori di emissione. In particolare, come riportato in tabella 1, per la categoria 4, "Agricoltura", vengono stimate le emissioni prevalentemente di due gas serra: il metano (CH₄) e il protossido di azoto (N₂O), da sei fonti emmissive (una delle quali, la 4E, non è presente in Italia).

Tabella 1. Fonti emmissive del settore agricoltura

CATEGORIA 4	DENOMINAZIONE	GAS SERRA
4A	Fermentazione enterica	CH ₄
4B	Gestione deiezioni animali	N ₂ O, CH ₄
4C	Risaie	CH ₄
4D	Suoli agricoli	N ₂ O
4E	Incendi controllati della savana	N ₂ O, CH ₄
4F	Brucciatura stoppie	N ₂ O, CH ₄

Fonte: IPCC, 1997

Nella categoria 4, non sono quindi incluse le emissioni di anidride carbonica (CO₂) derivanti dall'utilizzo di fonti energetiche in agricoltura per l'uso di mac-

⁹ Desunti dai Rapporti dell'ISPRA, in particolare ISPRA, 2011.

chinari, edifici, operazioni agricole e trasporto di prodotti agricoli, che vengono stimate nella categoria “energia” (cfr par. 5). Sono esclusi anche gli assorbimenti e le emissioni di CO₂ derivanti dall’uso del suolo, che vengono stimati in un altro settore, il LULUCF (*Land Use, Land Use Change and Forestry*. Cfr. par 3.4).

Per adempiere agli standard del *reporting* internazionale, le emissioni dei diversi gas serra, vengono riportate utilizzando il potenziale globale di riscaldamento (*Global Warming Potential - GWP*) e sono così espresse complessivamente in CO₂ equivalenti secondo fattori di conversione aggiornati nel tempo dall’IPCC (Tabella 2).

Tabella 2 - Potenziali di riscaldamento globali secondo i diversi rapporti IPCC

	CH ₄	N ₂ O	CO ₂
2nd IPCC Assessment report	21	310	1
3rd IPCC Assessment report	23	296	1
4th IPCC Assessment report	25	298	1

Fonte: IPCC, anni vari

Ad oggi (ISPRA, 2012) in Italia, per trasformare le emissioni di N₂O si moltiplica il loro valore per 310, invece le emissioni di CH₄ vengono moltiplicate per 21, secondo quanto previsto dal SAR (*Second Assessment Report*).

La metodologia proposta, tuttavia, con lo scopo di offrire una visione unitaria delle emissioni collegate ai processi agricoli aziendali, apporta una modifica alla metodologia IPCC, stimando, a livello aziendale, sia le emissioni relative alla categoria agricoltura, che quelle energetiche (per quanto riguarda il solo consumo di carburanti) e dell’uso del suolo (LULUCF). Nella figura 2, viene riportata una schematizzazione delle fonti emmissive agricole analizzate.

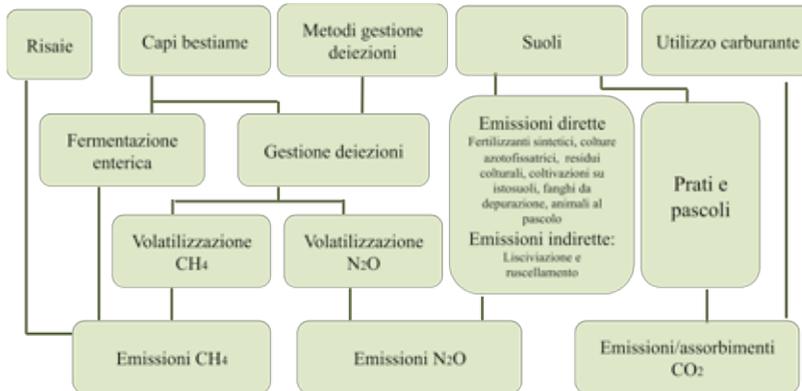
Per quanto riguarda le applicazioni, la metodologia proposta, sarà implementata per essere utilizzata da due tipologie di utenti: uno “generico” e uno derivante dalla banca dati RICA (Rete di Informazione Contabile Agricola)¹⁰.

La prima applicazione della metodologia ICAAI, definita UGE (Utente GEnérico), è utilizzabile da tutti gli utenti che siano interessati a conoscere una stima dell’impatto ambientale delle loro produzioni in termini di gas serra. Caratteristica principale della metodologia dovrà essere l’inserimento di una limitata quantità di dati, fondamentali per la stima delle emissioni. Per permettere la compilazione dei dati necessari alla stima dell’IC, sarà predisposto un portale web in cui inserire i dati necessari per la stima delle emissioni.

¹⁰ Per approfondimenti: <http://www.rica.inea.it/public/it/index.php>.

Nella figura 3 la prima pagina del sito in fase di predisposizione.

Figura 2 - Le principali direttrici della formazione delle emissioni di metano e protossido di azoto dall'allevamento di bestiame e gestione dei suoli agricoli



Fonte: Adattamento ed elaborazione da Wang et al., 2011

Figura 3 - Il portale web per il calcolo dell'IC



La seconda applicazione, definita URI (Utente RICA), utilizza la banca dati RICA per fornire alle aziende del campione un *output* in formato elettronico, relativi

vo alle emissioni della propria azienda e permette l'utilizzo dei dati così calcolati da parte degli utenti a vario titolo interessati alla stima delle emissioni aziendali. Pertanto, successivamente all'individuazione della metodologia, si procederà a raccogliere dati di base dalla banca dati RICA e stimare le emissioni per una regione pilota (il Veneto), per valutare eventuali modifiche e integrazioni da apportare allo strumento. Questo lavoro permetterà, una volta individuati i limiti della metodologia applicata al *database* RICA, di proporre miglioramenti funzionali a tali indagini e un'eventuale integrazione della metodologia ICAAI con altri database regionali, che permettano di fornire stime più robuste delle emissioni e degli assorbimenti di gas serra a livello aziendale.

I risultati ottenuti con l'utilizzo della metodologia, saranno aggregati in diversi livelli, per permettere analisi più dettagliate a livello di comparto e produzione. I principali aggregati ottenibili sono sintetizzati di seguito:

- Emissioni totali, ottenute sommando i diversi gas serra e le diverse fonti emissive attraverso il GWP
- Emissioni totali per tipologia di gas serra
- Emissioni da allevamenti animali
- Emissioni da suoli agricoli
- Assorbimenti (LULUCF)
- Energia

Inoltre, l'utilizzo della banca dati RICA, permetterà di calcolare degli indicatori di intensità di emissione con riferimento a parametri economici e strutturali aziendali.

Il maggiore valore aggiunto della metodologia proposta, anche nella versione "base", sta nel porre l'attenzione sulla singola azienda agricola come unità di analisi, utilizzando un taglio "trasversale" alla metodologia IPCC unendo i tre diversi settori-Agricoltura, Uso del Suolo ed Energia - che la metodologia ufficiale stima separatamente.

Nei paragrafi seguenti sono analizzate le singole fonti emissive, descrivendo la metodologia seguita ed i dati utilizzati per il calcolo dell'IC aziendale.

3.2 Agricoltura

3.2.1 4A Fermentazione enterica

La fermentazione enterica è il processo digestivo degli erbivori mediante il quale i carboidrati sono scomposti in molecole più semplici, tali da essere assorbite dall'animale. Durante tale processo viene prodotto il metano, la cui quantità dipende da molti fattori come tipo, età e peso dell'animale, qualità e quantità del mangime ingerito e il fabbisogno energetico¹¹. I ruminanti (ad es. bovini e ovini) rappresentano la maggior fonte di metano da fermentazione enterica, mentre i non ruminanti (ad es. equini e suini) producono quantità minori di metano (EEA; 2010).

Per calcolare le emissioni consideriamo una metodologia semplificata che consiste nella moltiplicazione del numero di capi per categoria animale, per lo specifico fattore di emissione.¹²

Di seguito si riportano i valori da assegnare come fattore di emissione (Emission Factor-EF)¹³ ad ogni capo di bestiame, per ottenere una prima stima delle emissioni da fermentazione enterica.

$$E_{FE} = N \cdot EF \quad (1)$$

Dove:

N= numero di capi

EF= *Emission Factor* per ogni categoria animale

11 La produzione di metano è generalmente legata positivamente al peso dell'animale, alla quantità di cibo ingerito, alla produzione di latte e alla gravidanza.

12 Al momento le linee guida IPCC (2006) sconsigliano di considerare le emissioni di CO₂ derivante dalla respirazione degli animali, che si assumono pari a zero (assumendo che la CO₂ catturata dalle piante con la fotosintesi venga restituita all'atmosfera con la respirazione animale). A livello aziendale questa è però una semplificazione che si potrebbe pensare di eliminare, favorendo così, quelle aziende che producono internamente gli alimenti per gli animali.

13 Generalmente il valore dell'EF riportato da ISPRA è fisso dal 1990 al 2009 (ISPRA, 2011); per le categorie animali per cui esso varia negli anni (altri bovini, vacche e bufalini) è stato considerato l'EF del 2009.

Tabella 3 - Fattori di emissione utilizzati per le emissioni di metano da fermentazione enterica

Categoria animale	EF medio (kgCH₄/capo anno)
Vacche da latte	113,00
Altri bovini	44,60
Bufalini	63,83
Pecore	8,00
Capre	5,00
Cavalli	18,00
Altri equini (inclusi asini e muli)	10,00
Scrofe	1,50
Altri Suini	1,50
Conigli	0,08

Fonte: ISPRA, 2011

3.2.2 4B Gestione delle deiezioni - Metano

Le deiezioni animali sono composte principalmente da materiale organico. Durante lo stoccaggio e la gestione delle deiezioni animali, è possibile che ci sia emissione di metano e protossido di azoto in atmosfera.

In particolare la decomposizione delle deiezioni in condizioni anaerobiche, attraverso i batteri metanogenici, genera CH₄. Questa condizione si verificano più facilmente negli allevamenti intensivi, quando un elevato numero di animali è confinato in un'area ristretta. La temperatura e il tempo di conservazione nell'unità di stoccaggio influiscono in modo rilevante sulla quantità di metano prodotta (EEA, 2010).

La fonte emissiva 4B non include le emissioni derivanti dalla combustione delle deiezioni e non tiene conto della riduzione delle emissioni di metano connesse al recupero di biogas¹⁴. Per calcolare tali emissioni si utilizza una metodologia semplificata, il metodo su base nazionale¹⁵ (ISPRA, 2011), che consiste nella mol-

¹⁴ Dalla submission del 2006 alla UNFCCC, nell'inventario nazionale, si assumono riduzioni delle emissioni di CH₄ connesse al recupero di biogas per i bovini e i suini.

¹⁵ Il calcolo dell'EF (kg CH₄ capo-1 anno-1) per i liquami e il letame deriva dalle successive equazioni (4B1 e 4B2) che tengono conto delle emissioni di CH₄ dovute alla produzione di solidi volatili (VS), attraverso un fattore di conversione che per i liquami è pari a 15.32g CH₄/kg VS e per il letame è pari a 4.8 g CH₄/kg VS:

4B1_liquami EF = 15,32 gCH₄/Kg VS · VS produzione liquami (kg testa VS-1 die-1)·365 giorni;

4B_2_letame EF = 4.8 gCH₄/Kg VS·VS produzione liquami (kg testa VS-1 die-1)·365 giorni.

tiplicazione del numero dei capi per categoria animale per lo specifico EF¹⁶.

Tabella 4 - Fattori di emissione per le emissioni di metano da gestione delle deiezioni

Categoria animale	EF (kg CH₄/capo anno)
Scrofe	19,600
Suinetti	1,140
Suini 25-50 kg	3,480
Suini 50-80 kg	6,460
Suini 80-110 kg	9,440
Suini > 110 kg	13,410
Cinghiali	19,860
Vacche da latte	15,040
Altre Vacche	10,660
Vitelli	6,220
Bovine	7,240
Bovini	8,750
Bufale	15,250
Altri bufalini	6,290
Cavalli	1,480
Muli e Asini	0,840
Pecore	0,220
Capre	0,145
Conigli	0,080
Ovaiole	0,082
Pollame da carne	0,079
Altro pollame	0,079

Fonte: Ispra, 2011

3.2.3 4B Gestione delle deiezioni - Protossido di azoto

Emissioni dirette di protossido di azoto si verificano come conseguenza dei processi di nitrificazione e denitrificazione dell'azoto contenuto nelle deiezioni e dipendono dalla disponibilità di azoto e carbonio. Le emissioni di N₂O sono favori-

16 I fattori di emissione sono tutti fissi, tranne quelli di scrofe, altri bovini altri suini e bufalini, per i quali sono stati considerati i fattori stimati nel 2009.

te da condizioni aerobiche poiché il processo di nitrificazione richiede la presenza di ossigeno (EEA; 2010). Come per le emissioni di metano, la fonte emissiva 4B esclude le emissioni derivanti dalla combustione delle deiezioni. Inoltre sono escluse le emissioni di N₂O derivante dall'azoto escreto al pascolo, che vengono riportate nella categoria 4D - Suoli agricoli (ISPRA, 2011).

Anche per il calcolo di queste emissioni è stata utilizzata una metodologia semplificata che consiste nella moltiplicazione del numero dei capi per categoria animale per lo specifico fattore di emissione, tenendo conto anche del tipo di gestione delle deiezioni.

La stima delle emissioni di N₂O prevede un calcolo basato sulla seguente equazione (IPCC, 2000):

$$EN_2O_{4B} = \sum_S \sum_T (N_T \cdot Ne_{xT} \cdot MS_{(T,S)}) \cdot EF_S \quad (2)$$

dove:

EN_2O_{4B} = emissioni di N₂O dalle produzioni animali;

N_T = popolazione zootecnica per tipologia T;

Ne_{xT} = escrezione media annua di azoto per capo e per specie;

$MS_{(T,S)}$ = frazione della escrezione totale annua per ciascuna specie zootecnica per il sistema di gestione delle deiezioni S;

EF_S = fattore di emissioni di N₂O per il sistema di gestione S.

La metodologia tiene conto dell'azoto escreto, in forma liquida e in forma solida, utilizzando uno specifico fattore di emissione di N₂O-N/kgN, che assume i seguenti valori:

- sistemi liquidi: 0,001;
- sistemi solidi: 0,02;
- essiccazione pollina: 0,02.

Di seguito si riportano i fattori di escrezione di azoto (N) per ogni categoria animale.

Tabella 5 - Fattori di escrezione di azoto al pascolo e al ricovero per capo anno e per forma di gestione delle deiezioni.

	kg N escreto/ capo anno Ricoveri	kg N escreto/ capo anno Pascolo	Totale (kg N escreto/ capo anno)	kg N escreto/capo anno sotto forma di*	
				Liquame	Letame
Scrofe	28,13	0	28,13	28,13	
Altri Suini	12,92	0	12,92	12,92	
Vacche da latte	110,2	5,8	116,00	44	66,2
Altri bovini	47,77	0,95	48,72	28,7	19,1
Bufalini	90,34	2,7	93,04	31,35	59,00
Cavalli	20	30	50,00		20,00
Asini e Muli	20	30	50,00		20,00
Pecore	1,62	14,58	16,20		1,62
Capre	1,62	14,58	16,20		1,62
Conigli	1,02	0	1,02		1,02
Pollame	0,53	0	0,53		0,53
Ovaiole	0,7	0	0,70	0,10	0,60
Polli da carne	0,36	0	0,36		0,36
Altri volatili	0,825	0	0,83		0,825
Animali da pelliccia	4,1	0	4,10		

*escluso il pascolo

0: l'animale non viene pascolato

-: l'animale o non produce liquame oppure non produce letame

Fonte: ISPRA, 2011 e Córdor et al., 2008

Nella successiva tabella si riporta per ogni sistema di gestione delle deiezioni il relativo EF proposto dall'IPCC.

Tabella 6 - Fattori di emissione di N₂O per la gestione delle deiezioni

Sistema	Descrizione	FE (kg N-N₂O/ kg N escreti)
Pascolo/prateria/ paddock	Le deiezioni deposte dagli animali al pascolo rimangono così come sono e non sono gestite.	0,02
Spandimento giornaliero	Lo stoccaggio o il trattamento delle deiezioni prima dell'applicazione sono minimi o nulli, per cui le emissioni durante lo stoccaggio e il trattamento sono assunti uguali a zero.	0
Stoccaggio del solido	Le deiezioni sono raccolte come nel caso dello spandimento giornaliero, ma sono stoccate in cumulo per un lungo periodo (mesi) prima di essere impiegate.	0,02
Dry lot	Nei climi caldi gli animali possono essere tenuti su aree non pavimentate, dove le deiezioni sono lasciate essiccare fino a che non vengono periodicamente rimosse. Dopo la rimozione, le deiezioni possono essere applicate in campo.	0,02
Liquame	Questi sistemi sono caratterizzati dallo stoccaggio di feci e urine in vasche. Per facilitare la gestione in forma liquida può essere aggiunta acqua al liquame.	0,001
Lagune anaerobiche	Caratterizzate da sistemi di ricircolo che utilizzano acqua per avviare il lagone. Il liquame resta nel lagone per periodi che vanno dai 30 giorni a oltre 200 giorni. La frazione chiarificata del lagone può essere utilizzata per il ricircolo o utilizzata per fertirrigazione.	0,001
Fossa di stoccaggio sotto le pavimentazioni	Stoccaggio combinato di feci e urine al di sotto dei ricoveri degli animali.	0,001
Digestore anaerobico	Le deiezioni in forma di liquame sono digerite in forma anaerobica. Utilizzo del metano per fini energetici.	0,001
Bruciate come combustibile	Le deiezioni sono raccolte ed essiccate e poi bruciate per riscaldamento o coltura. L'azoto delle urine viene depositato sul pascolo e deve essere considerato in questa categoria.	0,007 0,02

Fonte: Córdor et al., 2008

Box 1 – Utilizzo della banca dati RICA per gli allevamenti

Le categorie zootecniche sono definite in modo diverso dal NIR e dalla Banca Dati RICA/GAIA, pertanto, per ottenere informazioni sui capi allevati in azienda, al fine della stima delle emissioni di gas serra derivanti dal bestiame, occorre effettuare un raccordo tra le due classificazioni al fine di non escludere alcune categorie zootecniche e di non sovrastimare/sottostimare le emissioni. In Appendice 1 si riportano le tabelle con cui, le diverse sottocategorie presenti in GAIA, vengono riportate alla classificazione presente nel NIR.

3.2.4 4C Risaie

La decomposizione anaerobica di materiale organico delle coltivazioni di riso soggette a inondazione produce metano, che si propaga in atmosfera per ebollizione lungo la colonna d'acqua, per diffusione attraverso l'interfaccia acqua/aria e per trasporto attraverso le piante del riso. La quantità che viene emessa in atmosfera dipende dalla varietà del riso coltivato, dalla tipologia e dalla temperatura del suolo, dalle pratiche di gestione dell'acqua e dall'uso di fertilizzanti e altri concimi organici ed inorganici (EEA, 2010).

Analizzando la tecnica irrigua nell'ambito della coltivazione del riso in Italia, si tende a distinguere tra due grandi categorie, comunemente indicate come "riso in sommersione" e "riso in asciutta".

Il "riso in sommersione" è la tecnica irrigua, tradizionalmente impiegata in tutto il territorio risicolo della Pianura Padana, che prevede per gran parte del ciclo fenologico, generalmente dalla fine di marzo alla fine di ottobre, secondo delle cultivar utilizzate, uno strato d'acqua con altezza variabile tra i 5 e i 20 cm, sulla superficie dell'appezzamento.

Per "riso in asciutta" si intende il riso irrigato con interventi periodici che hanno come scopo la sommersione della camera con uno strato d'acqua di circa 5-10 cm che viene poi lasciato infiltrare fino al completo assorbimento, al fine di ricostituire, ogni volta, la riserva idrica dello strato radicale. La durata dei periodi di sommersione e di asciutta varia in funzione della tessitura del suolo, mentre il numero degli interventi è condizionato da eventuali precipitazioni che, in funzione di intensità e durata, possono ridurre il numero degli interventi necessari a completare il ciclo colturale del riso. Un'evoluzione di questa tecnica prevede

che il riso venga irrigato con interventi analoghi a quelli impiegati per il mais, ossia bagnature periodiche che non comportano una vera e propria sommersione dell'appezzamento.

Si può pertanto affermare che in Italia esistono due tecniche colturali con diversi fattori di emissione associati (*single e multiple aeration*).

La stima dei fattori di emissione associati alla coltivazione del riso considera un sistema di irrigazione che include inondazioni intermittenti con sistemi di aereazione singoli e multipli che sono ricondotti alle categorie IPCC come illustrato nella tabella seguente.

Tabella 7 - Differenze tra single e multiple aeration e confronti con le classificazioni indicate dall'IPCC

Single aeration	Multiple aeration	Multiple aeration
Dry-seeded Semina in asciutta	Wet-seeded (classic)	Wet-seeded (red rice control)

Fonte : ISPRA NIR 2011

I parametri utilizzati nella metodologia proposta sono i seguenti:

Tabella 8 - Fattori di emissione stagionali EF (g CH₄/ m²/anno)

Dry-seeded (aereazione singola)	Wet-seeded (classic) (aereazione multiple)
24,96	33,67

Fonte: ISPRA, 2011

Nel caso del *Dry-seeded* (in asciutta) si considera almeno un periodo di aereazione nel corso del ciclo colturale senza contare però l'aereazione finale; mentre nel *Wet-seeded* (sommersione) si considerano almeno due periodi di aereazione nel corso del ciclo colturale (senza contare l'aereazione finale).

L'equazione per il calcolo delle emissioni di CH₄ (espressi in Gg) è la seguente:

$$ECH_4 = \text{Superficie coltivata(m}^2\text{/anno)} \cdot EF \quad (3)$$

3.2.5 4D Suoli Agricoli

I suoli producono naturalmente protossido di azoto attraverso i processi di nitrificazione e denitrificazione; uno dei fattori che controlla la formazione di N₂O è la quantità di azoto presente nel suolo.

Le emissioni dei suoli agricoli possono avere diverse origini, esse vengono

classificate come dirette ed indirette. Quelle dirette possono derivare dai fertilizzanti sintetici, dai reflui zootecnici degli animali da pascolo, dai residui colturali, dalle colture azofissatrici e dai suoli organici (istosuoli¹⁷), mentre quelle indirette sono causate dai processi di deposizione atmosferica, lisciviazione e ruscellamento.

Di seguito riportiamo brevemente le tecniche di stima di tali emissioni e i dati di attività relativi.¹⁸

Fertilizzanti sintetici (F_{sn})

Il calcolo sull'utilizzo di fertilizzanti sintetici è ottenuto moltiplicando l'azoto (N) totale contenuto nel fertilizzante con dei parametri usati per stimare le emissioni dirette di N_2O . Il tutto viene poi moltiplicato per il fattore di emissione ed il fattore di conversione.

Di seguito le equazioni di riferimento:

$$F_{sn} = N_{tot} \cdot (1 - \text{FRAC}_{\text{gasf}}) \quad (4)$$

$$N_2O_{F_{sn}} = F_{sn} \cdot 0,0125 \quad (5)$$

dove:

N_{tot} = Azoto totale contenuto nei fertilizzanti.

Il parametro $\text{FRAC}_{\text{gasf}}$ ¹⁹ è calcolato seguendo le linee guida IPCC dividendo le emissioni totali di N-NH₃ e N-NO_x per l'azoto totale contenuto nei fertilizzanti.

Reflui zootecnici riversati al suolo (F_{am})

L'azoto delle deiezioni applicate ai suoli è ottenuto dall'azoto escreto corretto per l'azoto perso per volatilizzazione di N-NH₃ e N-NO e per la quota di azoto escreta al pascolo (Condor *et al.*, 2008).

$$F_{AM} = N_T \cdot (1 - \text{FRAC}_{\text{graz}} + \text{FRAC}_{\text{gasm}}) \quad (6)$$

17 Gli istosuoli o suoli organici sono suoli formati su sedimenti torbosi, quindi in ambienti palustri. Sono composti principalmente con materiale organico di spessore superiore ai 40 cm nei primi 80 cm di profondità, generalmente acidi o sub acidi. Possono essere sfruttati a fini agronomici con larghe rese previa bonifica, in quanto ricchi di sostanza organica humificata (humus), che in seguito ad opere di drenaggio si compatta e decompone in maniera disordinata.

18 Tutti i dati ottenuti per le emissioni dirette vanno moltiplicati per il coefficiente 44/28 che converte le emissioni di N₂O-N in emissioni di N₂O.

19 Il parametro nel 2009 è uguale a 0,096.

dove:

N_T =Azoto escreto per categoria animale

$FRAC_{graz}$ è la frazione di azoto escreta al pascolo rispetto al totale

$FRAC_{gasm}$ è un parametro “country specific” che in Italia è pari a 0,292 (ISPRA, 2011).

Tabella 9 Deiezioni applicate al suolo (FAM)

Categoria animale	kg N escreto/capo anno Ricoveri	FRAC_{graz}
Altri bovini	47,77	0,019
Vacche da latte	110,2	0,05
Bufalini	90,34	0,029
Altri suini	12,92	0
Scrofe	28,13	0
Pecore	1,62	0,9
Capre	1,62	0,9
Cavalli	20	0,6
Altri equini (inclusi asini e muli)	20	0,6
Pollame	0,53	0
Conigli	1,02	0

Fonte: Elaborazioni su dati Ispra (2011)

Colture azotofissatrici (F_{bn})

L'input di azoto nell'atmosfera dovuto alle colture azotofissatrici (leguminose e foraggere) viene calcolato in base all'azoto fissato dalle singole colture (riportato in Tabella 10).

Tabella 10 Contenuto di azoto fissato dalle colture

Colture	Azoto fissato (Nf) (kg /ha anno)
Fagiolo	40
Fava	40
Pisello fresco	50
Pisello secco	72
Cece, lenticchia, lupino	40
Veccia	80
Soia	58
Erba medica	194
Trifoglio	103

Fonte: ISPRA 2011

Le emissioni di N₂O vengono calcolate con la seguente formula:

$$N_2O_{ca} = SAU_{ca} \cdot N_f \cdot 0,0125 \quad (7)$$

dove

SAU_{ca} = Superficie coltivata a leguminose

N_f = azoto fissato per coltura

Residui colturali (F_{cr})

L'azoto che ritorna ai suoli con i residui colturali è calcolato considerando le colture azoto-fissatrici e non, stimando l'azoto contenuto nei residui che ritornano ai suoli, correggendo con i coefficienti $FRAC_{burn}$, per tener conto della quota di residui destinata a combustione.

Dalla produzione annuale si stima la quantità di sottoprodotto in sostanza secca per ogni coltura; tale quantità viene moltiplicata per la percentuale di sottoprodotto interrata e per il contenuto di azoto di tale sottoprodotto (stimato a partire dai protidi nella sostanza secca) per ogni coltura. Il valore totale è dato dalla somma delle quantità di azoto presente nei sottoprodotti e ritornato al suolo (reinterrato) delle colture interessate.

La quantità di sottoprodotto (sostanza secca) è stimato per ciascuna coltura dalla produzione annua o dalla superficie coltivata, di conseguenza i contenuti di azoto vengono applicati per ogni coltura. Utilizzando la produzione raccolta, residui colturali (F_{cr}) sono calcolati applicando coefficienti al rapporto residuo/produzione e il contenuto della produzione di sostanza secca.

Le emissioni di N₂O sono calcolate nel modo seguente:

$$N_2O_{F_{cr}} = F_{cr} \cdot (1 - FRAC_{burn}) \cdot 0,0125 \cdot 44/28 \quad (8)$$

dove:

F_{cr} = quintali produzione raccolta · residuo/produzione · contenuto sostanza secca

$FRAC_{burn}$ = frazione di residuo colturale bruciata invece che lasciata sul campo = 0,1 (Kg N/Kg crop_N).

Il valore ottenuto va poi diviso per un coefficiente (6,25) che indica il contenuto di azoto convertendo il contenuto di proteine in sostanza secca.

Coltivazioni su istosuoli (F_{os})

Per l'azoto derivante dalla coltivazione dei suoli organici sono stati presi in considerazione tutti i comuni con almeno il 50% del loro territorio classificato come "istosuoli".

Dal database geografico "Badasuoli" del CRA-ABP²⁰ di Firenze, sono state estratte le informazioni pedologiche riguardanti gli istosuoli e sono state spazializzate sul territorio nazionale. Incrociando questo strato geografico con quello dei comuni italiani, sono stati estratti i comuni nei quali erano presenti istosuoli. Su 8092 comuni italiani, soltanto 36 hanno una copertura di istosuolo superiore al 50%.

Soltanto per gli utenti che hanno l'azienda agricola ricadente in questi territori verrà calcolata l'emissione di N_2O seguente la seguente formula:

$$N_2O_I = S_{so} \cdot 8 \text{ Kg N/N}_2\text{O} \quad (9)$$

dove:

S_{so} = Superficie in ettari di istosuoli

Fanghi da depurazione (F_{sewage})

Il termine "sewage sludge" si traduce in italiano come fanghi da depurazione, nel caso specifico, fanghi utilizzati in agricoltura.

F_{sewage} è la quantità di azoto contenuto nei fanghi e viene stimato a partire dalla quantità di fanghi sparsi al suolo (espresso in materia secca t) per il contenuto medio di azoto (tra il 4% e il 5%) dei fanghi.

Il fattore di emissione utilizzato è 0,0125 kg $N-N_2O$ /kg N e il fattore di volatilizzazione è del 20% per $N-NH_3$ ai quali bisogna aggiungere le emissioni di NO_x (IPCC, 1997).

$$F_{sewage} = F \cdot 0,4 \cdot 0,0125 \cdot 20/100 \quad (10)$$

dove:

F = Quantità fango sparso al suolo.

²⁰ CRA-ABS: Consiglio per la Ricerca e la Sperimentazione in Agricoltura-Centro di ricerca per l'agrobiologia e la pedologia (Firenze).

Animali al pascolo

La quota di emissioni derivante dalle deiezioni escrete dagli animali al pascolo, deve essere considerata tra le emissioni dei suoli agricoli (4D). La quantificazione di queste emissioni avviene attraverso la moltiplicazione tra l'azoto escretato al pascolo per capo per la consistenza zootecnica e per un coefficiente pari a 0,02 kg N-N₂O/kg N escretato (cfr. Tabella 5 colonna 2).

Emissioni indirette

Per quanto riguarda le emissioni di N₂O indirette si prendono in considerazione per il calcolo delle emissioni, due tipologie di fonti:

- quelle derivate dalla deposizione atmosferica;
- quelle derivate dalla percolazione e dallo scorrimento (run-off).

Per il calcolo delle emissioni indirette dovute agli apporti azotati che derivano dalle deposizioni atmosferiche si prendono in considerazione l'azoto presente nei fertilizzanti e l'azoto totale escretato dagli animali. Successivamente si stimano le perdite per volatilizzazione applicando i fattori FRAC_{gasf} e FRAC_{gasm} che quantificano l'entità delle perdite rispetto al totale somministrato rispettivamente con i concimi minerali e con i reflui zootecnici.

Le formule utilizzate sono le seguenti:

$$E = [(N_f \cdot \text{FRAC}_{\text{gasf}}) + (N_l \cdot \text{FRAC}_{\text{gasm}})] \cdot 0,01 \cdot 44/28 \quad (11)$$

dove:

N_f = Azoto totale del fertilizzante

N_l = Azoto totale bestiame (sia al pascolo che al ricovero)

Per calcolare le emissioni derivanti dal ruscellamento e percolazione si prende in considerazione la somma di azoto totale escretato e di azoto nei fertilizzanti corretta per il fattore FRAC_{leach} che quantifica la quota di azoto apportato al suolo tramite percolazione e scorrimento superficiale.

$$N_2O_{\text{leach}} = (N_f + N_l) \cdot \text{FRAC}_{\text{leach}} \cdot 0,3 \text{N/Kg} \cdot 0,025 (\text{KgN}_2\text{O-N}) \cdot 44/28 \quad (12)$$

Box 2 Utilizzo della Banca dati Rica per i fertilizzanti

A partire dall'anno contabile 2011, il software GAIA utilizzato per la rilevazione di contabilità della RICA, consente di avere informazioni dirette sui quantitativi di azoto (N), fosforo (P) e potassio (K) per alcune tipologie di fertilizzanti (concimi solido-minerali). Per gli altri fertilizzanti è invece possibile derivare i quantitativi NPK indirettamente. In questi casi il calcolo prevede anzitutto la distinzione tipologica del fertilizzante mediante i codici "gruppo" e "mezzo" riportati nella banca dati RICA, segue la verifica del titolo NPK o mediante le informazioni descrittive aggiunte in sede di rilievo RICA (es. nome commerciale), oppure per approssimazione indiretta secondo valori indicativi appresi nella letteratura agronomica (es. da "Concimi, ammendanti e letame" alla voce "Letame di altri animali" il contenuto medio di azoto può essere stimato intorno a 0,25% - 0,5%). In base quindi agli importi di spesa dei concimi utilizzati per l'anno contabile di riferimento e ai relativi prezzi unitari riportati nella stessa banca dati, è possibile ricavare il quantitativo di NPK effettivamente consumato all'interno dall'azienda.

3.2.6 4F Combustione in campo dei residui colturali

La combustione in campo dei residui agricoli comporta emissioni di metano e protossido di azoto. Pur essendo proibita dal 1980, in Italia tale pratica è ancora presente; infatti, alcune Regioni richiedono ogni anno una deroga alla legge, in modo da consentire la bruciatura delle stoppie. Data la scarsa rilevanza della fonte a livello nazionale e il divieto citato, nella prima versione del calcolatore si è scelto di non stimare le emissioni da tale fonte.

3.3 Energia

Per il calcolo delle emissioni dovute alla combustione di carburanti utilizzati in agricoltura, la metodologia prende in considerazione i coefficienti di emissione utilizzati per il settore dei trasporti. In particolare sono utilizzati i seguenti coefficienti (APAT/2003):

- Benzina 3,109 kg CO₂ /kg combusto;
- Gasolio 3,138 kg CO₂ /kg combusto;
- GPL 2,994 kg CO₂/kg combusto;

Il dato emissivo sarà il risultato della formula:

$$Kg\ CO_2 = Kg_{(combust)} \cdot EF \quad (13)$$

3.4 Uso del suolo

3.4.1 Cambiamenti d'uso del suolo: il carbonio nei suoli agricoli

Il ciclo biogeochimico del carbonio (C) negli ecosistemi terrestri caratterizza flussi specifici di trasferimento tra diversi compartimenti (pool) tra cui il suolo. Quest'ultimo rappresenta il comparto ambientale con la più grande riserva di carbonio in forma organica (*Soil Organic Carbon* - SOC), che deriva principalmente dai processi di decomposizione della sostanza organica (SO) per mezzo della microflora e della microfauna edafica. Il suolo inoltre può fungere da fonte di carbonio se si considerano i processi ossidativi della stessa SO che portano al rilascio finale nell'atmosfera sotto forma di biossido (CO₂).

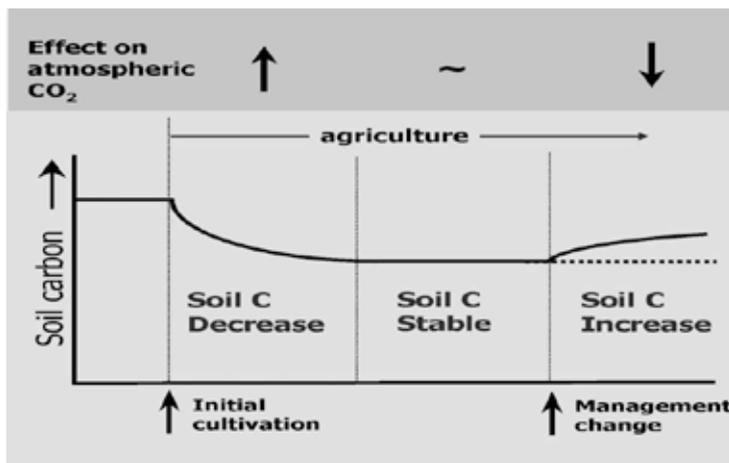
Nel caso degli agroecosistemi l'equilibrio che in genere caratterizza i sistemi naturali può essere turbato in relazione al loro grado di semplificazione. In particolare nel caso del SOC potrebbero determinarsi cambiamenti quantitativi notevoli nei flussi in entrata e in uscita, in virtù dell'asimmetria nel bilancio della sostanza organica dovuta alle cinetiche che comportano la sua degradazione, ad esempio tramite le lavorazioni (Janzen *et al.*, 1998). I livelli di SOC, infatti, riflettono un equilibrio di lungo periodo tra gli input e gli *output* di carbonio organico e in questo senso i processi di coltivazione possono rappresentare delle vere e proprie "attività estrattive" di C, oltre che di altri elementi (Follett, 2001). Il bilancio tra lo stock di SOC e le perdite sotto forma di CO₂ si determina, oltre che in funzione delle caratteristiche naturali degli agroecosistemi (es. condizioni pedoclimatiche), anche in base alle attività gestionali, in particolare a tutte quelle operazioni che determinano la perdita di suolo e residui organici, come nel caso di erosione.

In linea generale la principale fonte di SOC è rappresentata dalla biomassa in decomposizione nel suolo, mentre i flussi in uscita sono direttamente legati al rilascio di CO₂ in atmosfera dovuto ai processi di respirazione della biomassa viva

(radici e microrganismi). Il SOC si localizza prevalentemente nei primi 30 cm del profilo del terreno nei componenti lignocellulosici (residui colturali, radici, essudati organici, escrementi di animali) nella microflora e microfauna tellurica, da ciò emerge l'impatto diretto che le pratiche agricole eccessivamente intensive possono avere (Jandl, 2010). Oltre alla sostanza organica, è molto importante anche la matrice mineralogica dei terreni; ad esempio i suoli ricchi di minerali argillosi, alluminosilicati e cationi minerali, sono più propensi a formare complessi organo-minerali che assicurano un buon contenuto di SOC.

L'intensificarsi delle pratiche agricole dell'ultimo secolo ha comportato una rilevante riduzione globale del SOC in conseguenza da un lato, dell'attivazione delle cinetiche ossidative e, dall'altro, dello scarso livello di ritorno al suolo dei residui organici dovuti al prelievo, pressoché totale, di biomassa dei sistemi monocolturali. Tuttavia, queste dinamiche non sono completamente irreversibili, poiché la conversione verso pratiche di coltivazione e gestione dei suoli più sostenibili potrebbe comportare un cambiamento positivo dei trend del SOC (Follet, 2001) (fig. 4).

Figura 4 - Schema dei cambiamenti di lungo periodo degli stock di carbonio nel terreno



Fonte: Follett (2001).

Dopo il varo del Protocollo di Kyoto, la letteratura scientifica sulle variazioni delle riserve di carbonio (*carbon sink*) si è sviluppata velocemente, specie nell'ambito agroforestale. In particolare, molti studi focalizzano l'attenzione sul legame diretto tra gli stock di C organico nei suoli e i sistemi d'uso dei terreni agricoli.

Per quanto riguarda i suoli europei, una prima indicazione deriva dallo studio di Smith *et al.* (1997), dove, dal confronto tra diversi sistemi di uso e gestione del suolo agricolo, emerge che la maggiore capacità di sequestro di carbonio nel terreno si verifica nel caso di sistemi estensivi e di coltivazioni forestali, raggiungendo sino a 40 Tg/ha di SOC all'anno²¹. Paustian *et al.* (1998) approfondiscono il contributo che l'agricoltura potrebbe dare nell'assorbimento di CO₂ atmosferica. In particolare gli autori riportano i valori medi emersi da diversi studi sugli stock mondiali di C (circa 550.000-700.000 Tg contenuti nella vegetazione e intorno a 1.500.000 Tg nel caso del SOC), stimando che tra il 1700 e il 1985 si sia verificato un declino totale di circa 170.000 Tg dovuto principalmente ai sistemi intensivi dell'agricoltura e al progressivo consumo di territorio. Inoltre, gli autori stimano che una gestione del suolo più sostenibile potrebbe comportare globalmente un incremento variabile tra i 22.000 – 30.000 Tg di C, con un saggio annuo d'incremento di circa 500 Tg. Smith *et al.* (2001), partendo dai riferimenti quantitativi dell'IPCC (1996), comparano i risultati raggiungibili tra diversi scenari di uso del suolo, computandone oltre al quantitativo di SOC, anche il risparmio in termini di CO₂ emessa. Freibauer *et al.* (2004), presentano un'interessante rassegna tecnica sulle quantità di C potenzialmente sequestrabile per ogni ettaro di superficie agricola, stimando nel caso dei territori dell'UE15, circa 16-19 milioni di tonnellate annue. In particolare gli autori stimano il cambio di flusso di C che si potrebbe realizzare qualora fossero convertiti sistemi agricoli intensivi in altri più sostenibili nell'utilizzo di input produttivi. La classifica di studi apportata dagli autori ha consentito di strutturare delle tabelle di riferimento sui quantitativi di carbonio (in tonnellate all'anno) stoccabili nel terreno, per singolo sistema colturale con annesse pratiche di gestione (ad esempio si passa da valori attestati tra 0,3 e 0,4 t/ha per anno nel caso di seminativi gestiti con lavorazioni assenti o ridotte, fino ai 0,6 t/ha anno nel caso di foraggiere permanenti).

Resta tuttavia da sottolineare come la precisa valutazione del bilancio del carbonio nel suolo sia particolarmente difficile e incerta per via di tutta una serie di fattori che agiscono simultaneamente nella definizione di specifici equilibri chimico-fisici che appunto regolano le dinamiche dei flussi (Rodeghiero *et al.*, 2009; Jandl, 2010); pertanto i riferimenti quantitativi vanno sempre considerati in termini di approssimazione e confronto di situazioni spazialmente definite.

3.4.2 Le linee guida IPCC per il calcolo degli stock di carbonio nei suoli

²¹ Un tera-grammo [Tg] è pari ad un milione di tonnellate.

Nel 1991 l'IPCC in collaborazione con l'OECD e l'Agenzia Internazionale per l'Energia (IEA), ha sviluppato una metodologia per il calcolo e il monitoraggio continuo a livello nazionale delle emissioni di gas serra nell'atmosfera.

Le prime linee guida sono state pubblicate nel 1996 (*Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*), integrate, in seguito, al fine di migliorare la trasparenza delle assunzioni, la completezza sui territori nazionali di indagine, la congruenza della metodologia e dei *dataset* usati e l'accuratezza delle stime. In particolare, concentrando l'attenzione sul settore LULUCF, con l'ultima versione del 2006 (*2006 IPCC Guidelines*), è stato approfondito il ruolo giocato nella costituzione dei *carbon sink* di tutte le categorie di utilizzo del suolo (foreste, suoli agricoli, prati e pascoli, zone umide, insediamenti antropici e altro).

Su questa base il bilancio del carbonio si realizza su tre livelli metodologici (*tier*) differenziati in funzione della complessità e delle informazioni disponibili. Più precisamente il primo livello interessa la crescita e la perdita di biomassa insieme alle emissioni/rimozioni a livello globale e sovranazionale in funzione delle informazioni provenienti da dati statistici aggregati. Il secondo livello comporta una stima più complessa relativa al dettaglio nazionale, mentre il terzo si basa su indagini puntuali a livello locale con l'implementazione di modelli dinamici più raffinati al fine di stimare i cambiamenti degli stock di carbonio (Ciccarese, 2010).

Sostanzialmente i metodi di stima computano le variazioni di stock di carbonio per ogni *pool* di riferimento riguardante la biomassa viva (ipogea ed epigea), la biomassa morta (necromassa legnosa e lettiera), le variazioni di stock a livello del suolo, le emissioni dirette di CO₂ e altri gas serra nei processi di combustione della biomassa (es. incendi forestali, bruciatura delle stoppie, ecc..), negli allevamenti, nella gestione dei residui colturali e nella gestione del suolo. Le variazioni complessive sono quindi ottenute dalla somma di ognuna delle voci elencate per ogni anno di riferimento consentendo di redigere inventari a livello nazionale.

La metodologia di stima IPCC quantifica gli stock e i flussi di C secondo due procedimenti. Il primo di questi, definito *Gain-Loss Method*, considera gli incrementi annui di C per la crescita di biomassa o trasferimento tra pool diversi al netto delle perdite. Il secondo metodo - *Stock-Difference Method* - si basa sulle differenze degli stock, considerando l'inventario di carbonio su due anni di riferimento. In tal senso la variazione di C in ognuno dei compartimenti considerati è pari alla differenza tra lo stock dell'anno corrente e quello dell'anno di riferimento, diviso il numero di anni tra i due inventari. Quest'ultimo approccio in generale è preferibile qualora ci siano grandi variazioni di biomassa o quando una nazione dispone di inventari accurati e comparabili (Byrne e Ciccarese, 2010). Se, almeno

concettualmente, è possibile stimare senza grande difficoltà gli incrementi/decrementi di biomassa (es. in base alla superficie occupata da coltivazioni e relativa sostanza secca prodotta, prelievi di legna, raccolto, ecc.), molto più articolate e complesse sono le operazioni di stima della necromassa e del carbonio sequestrato direttamente nel suolo. Il bilancio del carbonio nella biomassa morta è, infatti, variabile in funzione di diversi parametri climatici e fisiologici, mentre il discorso si complica per il C sequestrato nel terreno, dipendendo direttamente dalla forma chimica della fonte di partenza (es. proteine, lignine, altri composti carboniosi) oltre che dagli aspetti inerenti la geologia, la storia d'uso del suolo, il clima, ecc.. Ad esempio, in condizioni di temperature più basse ed elevata umidità la decomposizione della sostanza organica avviene molto più lentamente con input che tendono a eccedere le perdite dovute alla naturale degradazione; viceversa nel caso di climi più caldi e meno piovosi le dinamiche cambiano comportando un'accelerazione dei processi degradativi, con una consistente perdita di sostanza organica. Su tale base i suoli possono fungere sia da emettitori netti di C, se i processi respirativi dovessero prevalere sulla produttività primaria degli ecosistemi (es. di zone climatiche calde), o viceversa, i suoli potrebbero contribuire direttamente come serbatoi (*sink*) se il bilancio è spostato a favore degli assorbimenti (es. torbiere, sistemi agropastorali, ecc.) (Jandl, 2010). Inoltre, nel suolo il carbonio si trova in entrambe le forme organica e inorganica e il loro rapporto è legato alle pratiche di gestione. In particolare nel caso dei terreni agricoli le pratiche hanno una grande influenza nello stock di C organico e nella cinetica di mineralizzazione della sostanza organica complessiva (SO).

Secondo la metodologia proposta dall'IPCC, in genere sia per quanto riguarda la biomassa morta, che per gli stock di SOC, il bilancio del C è considerato per convenzione pari a zero, assumendo che le quantità totali effettive di C rimangono stazionarie nel tempo. In realtà tale assunzione è consequenziale alla carenza di dati e all'elevato rischio di incertezza nelle stime (IPCC, 1996; Ciccarese, 2010). La stima richiede l'identificazione tipologica dei suoli in base al contenuto in sostanza organica, distinguendo suoli "organici" da "minerali". I suoli organici hanno un contenuto in SO variabile tra il 12% ed il 20%, e sono tipici delle zone umide con scarso drenaggio (es. torbe), mentre quelli minerali in genere hanno un contenuto di SO relativamente basso e sono tipici di ecosistemi meno umidi e con buone condizioni di drenaggio. In linea di massima la stima di un inventario degli stock di C secondo lo *Stock-Difference Method*, è fatta in base al tasso annuo di variazione degli stock di carbonio nel suolo (ΔC_s) dato a sua volta dalla variazione di

carbonio organico nella SO (ΔC_o) e dalla variazione di stock di C inorganico²² (ΔC_i) dei suoli minerali, al netto delle perdite per degradazione di sostanza organica (L_o) per via microbica nei suoli organici:

$$\Delta C_s = \Delta C_o + \Delta C_i - L_o \quad (14)$$

Per il primo e il secondo *tier* il computo dello stock di carbonio è riferito ai primi 30 cm del profilo del terreno, mentre non include il carbonio contenuto in eventuali residui organici (che fanno parte della frazione di biomassa morta). La variazione di stock è funzione essenzialmente dei fattori di emissione che rappresentano la perdita annua di C organico attraverso i processi di drenaggio, mentre il carbonio inorganico non è considerato nel computo finale per via dei limitati dati in merito. Il metodo di stima considera i cambiamenti di flusso in un periodo finito in cui si considerano i cambiamenti d'uso del suolo rispetto a uno stadio di riferimento (es. la copertura vegetale originaria). Il metodo IPCC osserva due assunzioni di base:

- il C nel suolo dopo un certo periodo raggiunge un equilibrio stazionario spazialmente definito a determinate condizioni pedoclimatiche e della gestione;
- la transizione degli stock di SOC verso un nuovo equilibrio avviene in maniera lineare.

In questa sede l'attenzione è focalizzata sui suoli di tipo minerale poiché rappresentano la categoria più comunemente diffusa tra i terreni agricoli italiani. Il contenuto di C in questa tipologia di suoli dipende, oltre che da condizioni pedoclimatiche, anche dalle pratiche di uso che influenzano significativamente la capacità di sequestro del C atmosferico attraverso i cambiamenti nella produzione agricola (es. regimi di concimazione, irrigazione, periodi di copertura vegetale, ecc.).

La variazione annua degli stock di C organico (ΔC_o) in un certo periodo di tempo (t) può essere quindi calcolata come differenza tra il contenuto di SOC all'ultimo periodo considerato (SOC_t) e quello iniziale di riferimento (SOC_{t_0}), il tutto rapportato al tempo da cui dipendono i fattori di variazione dello stock di C (D), cioè il periodo di transizione (in anni) tra due equilibri di SOC²³.

²² Questo è assunto pari a zero per il primo e il secondo tier metodologico.

²³ In genere questo intervallo è considerato pari a 20 anni.

Quanto detto può essere formalizzato nella seguente equazione:

$$\Delta C_0 = \frac{(SOC_t - SOC_{t0})D}{D} \quad (15)$$

La frazione di carbonio organico nel suolo è determinata dal prodotto tra lo stock di C di riferimento (in t/ha) e i fattori di variazione specifici degli stock:

$$SOC = \sum_{c,s,i} SOC_{REFc,s,i} \cdot F_{LUc,s,i} \cdot F_{MGc,s,i} \cdot F_{Ic,s,i} \cdot A_{c,s,i} \quad (16)$$

dove *c* rappresenta la zona climatica specifica, *s* il tipo di suolo, *i* l'insieme di sistemi di gestione e uso del suolo presenti nella zona geografica di riferimento (es. regione, nazione, ecc..). In questo contesto, lo stock di riferimento (SOC_{REF}) deriva da valori stimati in condizioni di vegetazione originaria (nativa) nei primi 30 cm del profilo. I valori sono tabellati in base²⁴ alle regioni climatiche mondiali e in base alla tipologia pedologica dei suoli. Per quanto riguarda i fattori di variazione, che sono grandezze adimensionali: F_{LU} rappresenta il fattore di variazione di C in base al sistema di uso del suolo; F_I è il fattore di variazione relativo al regime di gestione; è il fattore di variazione in base agli input di sostanza organica immessa nel suolo (es. concimazioni organiche); *A* rappresenta la superficie dell'area oggetto di analisi caratterizzata da condizioni biofisiche omogene (stesse condizioni pedoclimatiche) e storia gestionale sull'uso del suolo analoga. I fattori di variazione degli stock rappresentano il cambiamento nel corso di un determinato periodo (*L*) che può variare secondo i sistemi agricoli presi in considerazione. I loro valori sono stati calcolati e classificati dall'IPCC.

Nel caso dei suoli organici, le perdite annue di C organico (L_0) sono legate essenzialmente ai processi drenanti che si verificano nel terreno e che comportano la progressiva degradazione a CO₂ a causa delle cinetiche ossidative della SO. La metodologia proposta dall'IPCC stima questa frazione in base ad un fattore di emissione (*EF*) in tonnellate di C a ettaro annue, classificato in funzione delle zone climatiche di riferimento secondo l'equazione:

$$L_0 = \sum_c (A \cdot EF)_c \quad (17)$$

Partendo da valori di riferimento e relativi fattori, è possibile calcolare ognuna delle voci di variazione in modo da avere un'indicazione sulla variazione media

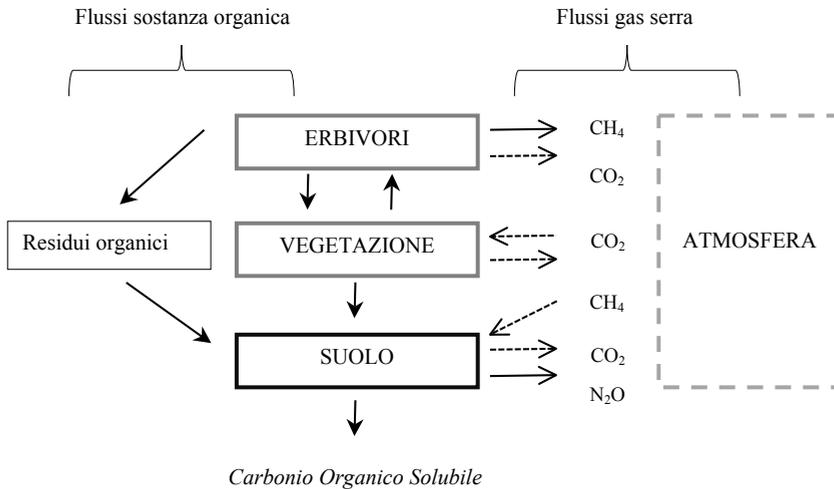
²⁴ Ad esempio nel caso di suoli moderatamente argillosi con clima caldo-umido, lo stock di SOC di riferimento stimato sui primi 30 cm di profondità, ammonta a 63 t/ha. (per maggiori dettagli si veda il Capitolo 2 del Volume 4 delle linee guida IPCC (2006), p. 2.31).

annua dello stock di carbonio organico a livello del suolo variabile secondo la zona pedoclimatica, sistema colturale e pratiche di gestione. I relativi valori sono tabellati per ogni caso studio nel rapporto delle linee guida dell'IPCC (2006).

3.4.3 Adattamento della metodologia IPCC a livello aziendale: un esempio sul caso dei prati e pascoli

I prati e pascoli (PP) sono tra gli esempi di agroecosistemi più efficienti nel sequestro di CO₂ atmosferica e stoccaggio diretto nel suolo, per via dei complessi rapporti trofici che si istaurano a livello edafico, per questo la loro riduzione in termini di superficie negli ultimi anni ha comportato impatti importanti sotto l'aspetto ambientale. I PP rappresentano la forma più estensiva della foraggicoltura e spesso si tratta di agroecosistemi confinati in aree precluse ad altre utilizzazioni agricole o dove si vogliono enfatizzare aspetti di tipo ambientale-paesaggistico (Cavallero *et al.*, 2002). Questi sistemi svolgono funzioni chiave in termini di servizi ecosistemici come la regolazione del ciclo dei nutrienti, la stabilizzazione strutturale dei suoli e mantenimento della fertilità, il bilancio del ciclo idrico, ecc.. In particolare, i PP definiscono un sistema naturale dinamico molto complesso con un ruolo extra-produttivo non indifferente dovuto anche alle peculiarità del ciclo del carbonio. Infatti, come descritto nella figura 5, gli agroecosistemi misti di foraggiere permanenti e pascoli giocano un importante ruolo nei processi di contenimento delle emissioni climalteranti. Se da un lato ci sono emissioni dirette in termini di anidride carbonica (dalla respirazione animale e vegetale), metano (dalla fermentazione enterica) e protossido di azoto (dai processi di degradazione a livello del suolo), dall'altro si istaurano flussi diretti che prevedono l'assorbimento del carbonio ed il temporaneo blocco in forma organica. Nel caso di PP questi processi sono tra i più efficienti proprio per il grado di complessità ecologica (Soussana *et al.*, 2004).

Figura 5 - Schema dei flussi di sostanza organica e gas serra in un agroecosistema di foraggiere permanenti



Fonte: riadattata da Soussana et al. (2004)

Nel caso dei suoli europei Vleeshouwers e Verhagen (2002) hanno stimato che mediamente i flussi annui di carbonio stoccato ammontano a circa 0,52 tonnellate per ettaro nel caso di agroecosistemi di foraggiere permanenti, contro i -0,84 tC/ha-nel caso dei seminativi intensivi²⁵.

3.4.4 Calcolo del C sequestrato nel suolo a livello aziendale usando il database RICA

In base alle linee guida IPCC il calcolo della variazione annua degli stock di C in suoli inorganici a livello aziendale prevede i seguenti passaggi:

1. Identificazione del tipo di suolo organico o minerale.
2. Definizione dell'orizzonte temporale, cioè dell'intervallo in cui si vuole studiare la variazione annua di C e dipende dalla disponibilità di dati sulla storia aziendale, in genere si aggira su 20 anni.
3. Individuazione della zona geografica in cui ricade l'azienda di riferimen-

²⁵ Nello studio in questione i flussi di sostanza organica sono stati calcolati tenendo conto delle perdite per decomposizione della produzione primaria netta, dell'umificazione dei residui colturali e delle immissioni di sostanza organica dovute alla presenza di erbivori al pascolo. Per maggiori dettagli si rimanda a Vleeshouwers e Verhagen (2002).

- to (regione, provincia, comune)²⁶.
4. Individuazione della zona climatica, identificata in base alla zona geografica e alla classificazione climatica di Koppen²⁷.
 5. Identificazione del tipo di sistema agricolo in base alle linee guida IPCC, che consentono di calcolare lo stock di C nel terreno in diversi ecosistemi quali: suoli forestali, terreni agricoli, prati e pascoli, zone umide e paludose, insediamenti, altri suoli (suolo nudo, terreni rocciosi, ghiacciai, ecc..).
 6. Ripartizione della SAU a livello aziendale, rilevabile direttamente dal database RICA.
 7. Classificazione pedologica (tipo di suolo). I tipi di suolo minerali su cui computare il SOC di riferimento della vegetazione nativa sono definiti dalla tassonomia internazionale dei suoli basata sul sistema WRB (*World Reference Base for Soil Resources*) o dal sistema statunitense dell'USDA (*United States Department of Agriculture*). In genere le informazioni sono rilevabili direttamente dai servizi di classificazione geopedologica locali (es. regionali, provinciali, ecc.).
 8. Definizione del valore SOC di riferimento sotto la vegetazione nativa, desumibile dal manuale IPCC.
 9. Individuazione dei fattori conversione in base a pratiche gestionali. Questi variano secondo il tipo di sistema considerato (seminativo, prato e pascolo, ecc..) e dal grado di intensità gestionale (rilevabile dal database RICA).
 10. Calcolo della variazione annua degli stock di C organico dei suoli minerali tramite l'equazione (15) in base all'orizzonte temporale e alle informazioni disponibili sulla storia dell'azienda.
 11. Calcolo delle perdite annue di C nel caso di suoli organici applicando mediante l'applicazione dell'equazione (17), dopo aver individuato il fattore di emissione tabellato nelle linee guida IPCC in base alla zona climatica.
 12. Calcolo finale dell'inventario degli stock di carbonio nel suolo in base
 13. alla variazione annua del SOC totale tramite l'equazione (14).

26 Nel database RICA, in base alla registrazione del codice aziendale è possibile arrivare come livello di dettaglio territoriale al comune di appartenenza.

27 La maggior parte del territorio italiano ricade nella regione climatica "c" ovvero climi temperati delle medie latitudini.

Esistono comunque diverse criticità sull'utilizzo delle informazioni disponibili sul database RICA ai fini dell'applicazione metodologica descritta. Queste riguardano principalmente la storia dell'utilizzo dei suoli aziendali negli ultimi 20 anni, in quanto il campione di aziende è variabile nella composizione e le informazioni sugli aspetti tipicamente gestionali per la comprensione del grado di intensità nei processi colturali. Tuttavia è possibile fare alcune approssimazioni. Infatti, nel caso della variabile temporale è comunque valutabile il contributo della variazione di carbonio anche in periodi più brevi (es. 4 anni) utilizzando modelli di calcolo non lineare disponibili in letteratura, ipotizzando il mantenimento della pratica agricola per gli anni successivi (es. 16 anni). Per quanto riguarda, invece, gli aspetti sulla gestione si può fare affidamento ad indicatori indiretti desumibili dalla RICA come, ad esempio, le voci di spesa per fertilizzanti ed altri mezzi tecnici, il ricorso al contoterzismo, il parco macchine, spese irrigue etc. (Box 3).

La tabella sinottica seguente, mostra le informazioni di base necessarie ad approssimare il calcolo della variazione di SOC desumibili dal database RICA.

Tabella 11 – Schema dei principali dati necessari al calcolo approssimativo delle variazioni di SOC desumibili dal database RICA

Dato	Unità di misura / tipo di informazione
Zona geografica	Comune
Agroecosistema	arboreo/erbaceo/foraggero
Intensità gestionale	lavorazioni piene/ridotte/assenti (zero-tillage)
Concimazione organica	SI/NO
Irrigazione	SI/NO
Ripartizione SAU	ettari

Box 3 Esempio di calcolo in un'azienda ricadente in Veneto

Il caso aziendale è stato selezionato dalla banca dati regionale RICA per il Veneto del 2007. La superficie agricola utilizzata (40,75 ha) è allocata per circa l'80% a pascoli (32,7 ha), mentre il restante 20% è allocato a seminativi per la coltivazione di cereali (8,05ha). Il fondo ricade in provincia di Padova nel territorio del comune di Veggiano dove, in accordo al sistema cartografico provinciale, la classe USDA di appartenenza riguarda l'ordine Inceptisoils, mentre il clima è temperato con estate calda (Cfa secondo la classificazione di Koppen). Le principali assunzioni sulla tipologia della gestione sono state fatte in base alle voci di spesa per i mezzi tecnici di fertilizzazione, difesa, irrigazione e meccanizzazione in modo da avere indicazioni sul grado d'intensività, al fine di definire correttamente i coefficienti necessari al computo dei flussi di C. I flussi annuali sono stati calcolati sul periodo 1995-2007, assumendo che nel 1995 l'intera superficie aziendale fosse allocata alla coltivazione dei cereali con grado d'intensività medio. I calcoli sono schematizzati nello schema sottostante.

Esempio di calcolo della variazione annua di C edafico a livello aziendale in un suolo di tipo minerale

	Zona geografica	Zona climatica	Tipologia pedologica	Orizzonte temporale (anni)	Agrosistema	Ripartizione SAU (ha)	SOCC _{REF}	F _{LI}	F _{MS}	F _I	SOCC (t C/ha anno)	ΔCO ₂ (t C/anno)
Dato	Veggiano (PD)	Clima temperato ad estate calda (Cfa) - Warm temperate dry	HAC (Eutrochrepts - Inceptisoil)	2007	Foraggere permanenti	32,7	38	1	1,14	1,11	1.572	58
					Seminativi (cereali)	8,05	38	0,69	1,02	1	215	
					1995	Seminativi (cereali)	40,75	38	0,69	1,02	1	
Fonte	RICA		IPCC Guidelines *	RICA	RICA	RICA	IPCC Guidelines (vol 4)	Calcolo	Calcolo			

*http://tornado.provincia.padova.it/WebSit/viewer.aspx?id_applicazione=b32667db-9141-4cde-be63-df4b535ad41a

Fonte: elaborazione su dati RICA Veneto, 2007

CAPITOLO 4

ALCUNE CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

Il presente studio propone una metodologia per la stima delle emissioni di gas serra a livello di singola azienda agricola, attraverso un adattamento delle linee guida IPCC utilizzate per la stima delle emissioni a livello nazionale, al fine di effettuare il *reporting* ufficiale alla Convenzione Quadro delle Nazioni Unite sui Cambiamenti Climatici. Le emissioni e le rimozioni di gas serra ascrivibili al settore agricolo, per loro natura, non sono emissioni puntuali e l'estrema varietà delle condizioni ambientali e gestionali delle singole unità aziendali, fa sorgere oggettive difficoltà di stima, che ostacolano un monitoraggio completo. Di più, nel caso dell'applicazione a livello micro di metodi sviluppati su base nazionale, la natura frammentata delle unità agricole rappresenta uno dei principali problemi all'adattamento della metodologia; tuttavia, è possibile realizzare una stima delle sole emissioni e rimozioni di gas serra che avvengono all'interno dei confini del sistema, adottando opportuni accorgimenti.

Obiettivo principale del lavoro presentato, è quello di cercare di superare la tradizionale divisione in settori produttivi utilizzata a livello internazionale, integrando informazioni sull'impatto ambientale, in termini di emissioni di gas serra, ricollegabili a diversi processi produttivi che fanno tutti capo all'unità aziendale. In particolare l'attenzione si è concentrata sulle emissioni di gas climalteranti e sul ruolo che l'agricoltore gioca direttamente e indirettamente sul loro controllo, al fine di avere indicazioni per stimare gli effetti sistemici di un'eventuale opzione di riduzione delle stesse emissioni. Infatti, molto spesso, la riduzione delle emissioni può portare a effetti sistemici con conseguenze negative sul bilancio aziendale dei gas serra, ma stimare insieme tutte le fonti, può aiutare a diminuire il "*carbon leakage*" a livello micro.

La metodologia ICAAI proposta, presenta diversi aspetti positivi che rendono interessante e utile sia la sua applicazione, che un successivo perfezionamento. Tra questi c'è sicuramente il fatto di stimare le emissioni al *farm gate*, perché ciò rappresenta un modo chiaro per definire i confini del sistema e incoraggia una gestione più sostenibile della realtà aziendale direttamente sotto il controllo dell'im-

prenditore agricolo, che l'approccio del ciclo di vita non consentirebbe di ottenere. Ciò permette di valutare l'effettivo impegno di mitigazione delle emissioni di un sistema aziendale eliminando politiche controproducenti. La maggior parte degli agricoltori, infatti, non è consapevole dell'impatto delle pratiche di gestione e delle tecnologie adottate, sulle emissioni di gas a effetto serra e non può (o non ha accesso a uno strumento adatto a) calcolare le emissioni della sua azienda agricola e la loro variazione come risultato di un'azione specifica. Tale conoscenza, o la disponibilità di uno strumento di calcolo, può certamente stimolare la consapevolezza degli agricoltori sulle opzioni di mitigazione disponibili. Se tali informazioni siano sufficienti a stimolare l'adozione di pratiche di mitigazione, in mancanza di altri incentivi (tra cui quelli finanziari), è difficile da prevedere, ma comunque possono certamente essere parte di un processo decisionale che veda coinvolti in prima persona gli agricoltori, in specifici gruppi di discussione.

Nell'ottica di valutare l'impegno nella mitigazione delle emissioni, inoltre, l'adattamento della metodologia IPCC a livello aziendale, è utile per armonizzare il raccoglimento di dati a livello micro con le richieste di inventari a livello macro per il reporting internazionale (sia UNFCCC, che UE) e, attraverso l'utilizzo della banca dati RICA, permette anche una comparazione a livello europeo dei valori ottenuti. Tuttavia, mentre a livello nazionale è giustificabile non contabilizzare alcuni flussi di carbonio (ad esempio, i dati sui sink delle colture annuali), a livello aziendale sarebbe auspicabile provare a stimare tutti gli scambi di carbonio che contribuiscono in modo rilevante al bilancio netto.

Dal punto di vista metodologico, è importante capire quali siano i punti di debolezza della metodologia proposta, per poter lavorare sul loro miglioramento futuro. Innanzitutto, stimare le emissioni con fattori di emissione nazionali (country specific) o di default, che sono più facili da reperire, rappresenta uno dei maggiori dei limiti dei risultati ottenuti, poiché non permette di cogliere l'importanza delle pratiche di gestione realmente utilizzate e delle condizioni ambientali locali. Pertanto, un successivo miglioramento della metodologia prevede innanzitutto, la stima di fattori di emissione quanto più possibile "farm-specific", ovvero caratteristici della singola realtà aziendale. Ciò sarà possibile anche integrando le informazioni presenti nella banca dati RICA con altre banche dati o con rilevazioni ad hoc. Le rilevazioni RICA nascono infatti con finalità di tipo economico e non sono quindi sufficienti, da sole, per ottenere una stima delle emissioni dettagliata. Tuttavia, negli ultimi anni, si è verificata una significativa revisione del contenuto informativo della scheda aziendale comunitaria e quindi dei dati raccolti per la RICA, con l'inclusione di informazioni di tipo ambientale, che sono molto utili per migliorare sensibilmente la qualità delle stime.

Questa proposta metodologica costituisce quindi un contributo iniziale, che andrà modificato e aggiornato alla luce degli aggiornamenti della banca dati RICA, consentendo di diminuire l'incertezza collegata alle stime a livello aziendale e di capire quali siano le informazioni mancanti da integrare con indagini *ad hoc* o attraverso altre banche dati.

Una considerazione a parte va fatta sulla dimensione temporale dei dati, che è una componente molto importante per la stima delle emissioni soprattutto per quanto riguarda l'uso del suolo e i cambiamenti d'uso del suolo. Dal database RICA, infatti, non sono direttamente ricavabili informazioni di medio-lungo periodo sulle modalità di gestione e la destinazione d'uso dei suoli aziendali, mancando serie storiche sufficientemente lunghe di rilevazione. In mancanza di tali informazioni, va preventivamente stabilito come contabilizzare, nel tempo, emissioni relativamente "immediate" (relative, ad esempio, ad un cambio d'uso del suolo) o *sink* che hanno carattere pluriennale. Su questo fronte sono sorte le maggiori difficoltà nella stima delle emissioni e l'impossibilità di rendere, per ora, automatica la procedura.

Lo strumento proposto, in questa prima versione, è stato realizzato per ottenere una stima di quale sia l'impatto delle produzioni agricole in termini di emissioni climalteranti, senza dimenticare che la mitigazione delle emissioni, soprattutto nel contesto agricolo, dovrebbe essere il risultato di una gestione sostenibile delle risorse a livello sistemico e non l'obiettivo principale delle politiche e delle attività aziendali. Inoltre, quand'anche si faccia riferimento alle sole politiche per fronteggiare i cambiamenti climatici, la metodologia ICAAI si concentra per ora solo su un aspetto, quello della mitigazione, senza considerare gli impatti sull'altra categoria di strategie da mettere in atto, ovvero quella dell'adattamento. Per ottenere un indicatore più completo delle misure per affrontare i cambiamenti climatici, pertanto, sarebbe opportuno valutare, anche solo in modo qualitativo, l'impatto di una misura di mitigazione adottata sulla capacità adattiva di un sistema, per cercare di enfatizzare le molteplici sinergie esistenti tra le misure di mitigazione e di adattamento, ed evitando di incorrere in fenomeni di *maladaptation* o *trade-off* tra le misure poste in essere.

Un ultimo rilevante aspetto, in ottica di utilità dell'analisi proposta per il supporto alle politiche *evidence-based*, riguarda l'importanza dell'integrazione delle informazioni ambientali ed economiche. L'utilizzo della banca dati RICA, rappresenta in questo senso un importante passo avanti nella direzione della costruzione di quella che potremmo definire una "contabilità integrata" ambientale ed economica a livello aziendale, che permetta valutazioni sull'efficienza delle pratiche

adottate. Ciò che conta, infatti, non è il valore delle emissioni nette di un'attività o di un settore, ma la possibilità di ridurre il livello delle emissioni in un modo economicamente efficiente. In alcuni casi, infatti, la mitigazione delle emissioni può avvenire in modo relativamente facile e a costi minimi (o nulli). In altri casi, invece, mitigare le emissioni può essere proibitivo ed anti-economico, oltre ad avere altri effetti ambientali sistemici negativi (ad esempio per la biodiversità o la resilienza del sistema). Pertanto, il miglioramento della stima delle emissioni a livello di azienda agricola, dovrebbe essere accompagnato da tentativi di migliorare anche la comprensione e la stima dei costi di mitigazione.

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- Byrne, K.A., Ciccarese L. 2010, La contabilizzazione delle emissioni e degli assorbimenti dei gas-serra nel settore agricolo e forestale, *Agriregionieuropa* 6 (21).
- Cavallero, A., Rivoira, G., Talamucci, P. 2002, *Pascoli*. In: Baldoni, R., Giardini, L. (a cura di), *Coltivazioni Erabacee, Foraggere e Tappeti Erbosi*, Pàtron Editore, Bologna.
- Ciccarese, L. 2010, Il calcolo della CO₂ emessa e fissata. In: INEA, *Gli accordi volontari per la compensazione della CO₂*, Quaderno 2, Roma.
- Cóndor R.D., Cristofaro E., De Lauretis R. 2008, *Agricoltura: inventario nazionale delle emissioni e disaggregazione provinciale*. ISPRA, Rapporto tecnico 85/2008. Roma, Italia.
- Dick J., Smith P., Smith R., Lilly A., Moxey A., Booth J., Campbell C., Coulter D., 2008, *Calculating farm scale greenhouse gas emissions*, University of Aberdeen, Carbon Plan, the Macaulay Institute, Pareto consulting, SAOS Ltd, Scotland, UK.
- European Commission 2010, *The CAP towards 2020: Meeting the food, natural resource and territorial challenges of the future*, Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions COM(2010)672 Final.
- European Commission 2011a, *Un'Europa efficiente nell'impiego delle risorse*, Communication from the Commission to the Council, the European Parliament, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions COM(2011) 21.
- European Commission 2011b *A Roadmap for moving to a competitive low carbon economy in 2050*, Communication from the Commission to the Council, the European Parliament, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions COM(2011) 112 Final.
- European Commission 2012, *Proposal for a decision of the European Parliament and of the Council on accounting rules and action plans on greenhouse gas emissions and removals resulting from activities related to land use, land*

- use change and forestry*, COM(2012) 93 final.
- European Environmental Agency 2010, *Annual European Community greenhouse gas inventory 1990–2008 and inventory report 2010*. Submission to the UN-FCCC Secretariat, Technical report No 6/2010, EEA.
- European Parliament 2011, *What tools for the European agricultural policy to encourage the provision of public goods?*, Directorate General For Internal Policies Policy Department B: Structural And Cohesion Policies Agriculture, June, 2011, ISBN 978-92-823-3466-9
- Follett, R. F. 2001, Soil management concepts and carbon sequestration in cropland soils, *Soil and Tillage Research*, 61 (1/2).
- Freibauer, A., Rounsevell, M.D.A., Smith, P., Verhagend, J. 2004, Carbon sequestration in the agricultural soils of Europe, *Geoderma* 122.
- IPCC-Intergovernmental Panel on Climate Change 1996, *Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Reference Manual*
- IPCC-Intergovernmental Panel on Climate Change, 1997, *Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Emission Inventories*. Reference Manual, Reporting Manual, Reporting Guidelines and Workbook, IPCC/OECD/IEA. IPCC WG1 Technical Support Unit, Hadley Centre, Meteorological Centre, Meteorological Office, Bracknell, Regno Unito.
- IPC- Intergovernmental Panel on Climate Change, 2000, *Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories*, IPCC National Greenhouse Gas Inventories Programme, Technical Support Unit, Hayama, Kanagawa, Japan.
- IPCC-Intergovernmental Panel on Climate Change, 2006, *2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme*, Eggleston H.S., Buendia L., Miwa K., Ngara T. and Tanabe K. (eds).Published: IGES, Japan.
- ISPRA-Istituto Superiore Protezione e Ricerca Ambientale 2012 *Italian Greenhouse Gas Inventory 1990-2010*. National Inventory Report 2010, Roma. ISPRA Rapporto tecnico 162/2012.
- ISPRA-Istituto Superiore Protezione e Ricerca Ambientale 2011 *Italian Greenhouse Gas Inventory 1990-2009*. National Inventory Report 2009, Roma. ISPRA Rapporto tecnico 139/2011.
- ISPRA-Istituto Superiore Protezione e Ricerca Ambientale 2009, *Italian Greenhouse Gas Inventory 1990-2007*. National Inventory Report 2009, Roma. ISPRA Rapporto tecnico 98/2009. Roma.
- Jandl, R. 2010, Il carbonio del suolo, *Agriregionieuropa* 6 (21).

- Janzen, H.H., Campbell, C.A., Izaurrealde, R.C., Ellert, B.H., Juma, N., McGill, W.B., Zentner, R.P. 1998, Management effects on soil C storage on the Canadian prairies, *Soil & Tillage Research*, 47.
- Rodeghiero, M., Heinemeyer, A., Schrumph, M., Bellamy, P. 2009, Determination of soil carbon stocks and changes. In: "*Soil carbon dynamics: an integrated methodology*", Cambridge University Press, Oxford.
- Smith, P., Powlson, D.S., Glendining, M.J., Smith, J., 1997, Potential for carbon sequestration soils: preliminary estimates for five scenarios using results from long-term experiments, *Global Change Biology*, 3.
- Soussana, J. F., Loiseau, P., Vuichard, N., Ceschia, E., Balesdent, J., Chevallier, T., Arrouays, D. 2004, Carbon cycling and sequestration opportunities in temperate grasslands, *Soil Use and Management*, 20 (2).
- Vleeshouwers, L.M., Verhagen, A., 2002, Carbon emission and sequestration by agricultural land use: a model study for Europe, *Global Change Biology* 8.
- Wang J., Cardenas L.M., Misselbrook T.H., Gilhespy S., 2011, *Development and application of a detailed inventory framework for estimating nitrous oxide and methane emissions from agriculture*, *Atmospheric Environment* 45 (2011) 1454-1463.

APPENDICE

Raccordo dati attività NIR/RICA per il calcolo di emissioni di CH₄ da fermentazione enterica

NIR	RICA
Vacche da latte	Vacche da latte
	Altre vacche
	Vacche da riforma
	Vacche nutrici
	Femmine da 1 a 2 anni
	Giovenche da riproduzione o da ingrasso
Altri bovini	Maschi da 1 a 2 anni
	Maschi oltre 2 anni
	Tori da riproduzione
	Vitelle < 1 anno
	Vitelli < 1 anno
	Vitelline carni bianche < 6 mesi
	Vitellini carni bianche < 6 mesi
	Altre bufale > 2 anni
	Bufale in produzione
	Bufale > 2 anni che non hanno partorito
Bufalini	Bufali > 2 anni
	Bufale < 2 anni
	Bufali < 2 anni
	Annutoli femmina
	Annutoli maschi
Pecore	Tutte le categorie RICA
Capre	Tutte le categorie RICA
	Cavallo stallone
Cavalli	Cavalla /giumenta da riproduzione
	Cavallo / stallone da macello

segue

NIR	RICA
Altri equini (inclusi asini e muli)	Diverse categorie
Scrofe	Scrofe
Altri suini	Magroncello
	Scrofette da riproduzione
	Magrone
	Lattonzoli
	Verri
	Cinghiali
Conigli	Da macello e da riproduzione

Raccordo dati attività NIR/RICA per il calcolo di emissioni di CH₄ da gestione delle deiezioni

NIR	RICA
Scrofe	Scrofe
Suinetti	Lattonzoli
Suini 25-50 kg	Magroncello Scrofette da riproduzione
Suini 50-80 kg	Magrone
Suini 80-110 kg	
Suini > 110 kg	Verri
Cinghiali	Cinghiali
Vacche da latte	Vacche da latte
Altre vacche	Altre vacche
Bovine	Vacche da riforma
	Vacche nutrici
	Femmine da 1 a 2 anni
	Giovenche da riproduzione o da ingrasso
Bovini	Maschi da 1 a 2 anni
	Maschi oltre 2 anni
	Tori da riproduzione
Vitelli	Vitelle < 1 anno
	Vitelli < 1 anno
	Vitelline carni bianche < 6 mesi
	Vitellini carni bianche < 6 mesi
Bufale	Altre bufale > 2 anni
	Bufale in produzione
	Bufale > 2 anni che non hanno partorito
	Bufali > 2 anni
	Bufale < 2 anni
	Bufali < 2 anni
Altri bufalini	Annutoli femmina
	Annutoli maschi
Cavalli	Cavallo stallone
	Cavalla /giumenta da riproduzione
	Cavallo / stallone da macello

segue

NIR	RICCA
Muli e asini	Tutte le categorie ricca
Pecore	Tutte le categorie ricca
Capre	Tutte le categorie ricca
Conigli	Da macello e da riproduzione
Ovaiole	Galline da uova
Pollame da carne	Polli da carne, broilers, pulcini, oche, anatre, tacchini, quaglie faraone, piccioni, fagiani, pernici, struzzi
Altro pollame/altri volatili	Altri volatili
Animali da pelliccia	Animali da pelliccia

Raccordo dati attività NIR/RICA per il calcolo di emissioni di N₂O da gestione delle deiezioni

NIR	RICA
Scrofe	Scrofe e lattonzoli
	Magroncello
	Scrofette da riproduzione
Altri suini	Magrone
	Verri
	Cinghiali
Vacche da latte	Vacche da latte
	Altre vacche
	Vacche da riforma
	Vacche nutrici
	Femmine da 1 a 2 anni
	Giovenche da riproduzione o da ingrasso
Altri bovini	Maschi da 1 a 2 anni
	Maschi oltre 2 anni
	Tori da riproduzione
	Vitelle < 1 anno
	Vitelli < 1 anno
	Vitelline carni bianche < 6 mesi
	Vitellini carni bianche < 6 mesi
	Altre bufale > 2 anni
	Bufale in produzione
	Bufale > 2 anni che non hanno partorito
Bufalini	Bufali > 2 anni
	Bufale < 2 anni
	Bufali < 2 anni
	Annutoli femmina
	Annutoli maschi
	Cavallo stallone
Cavalli	Cavalla /giumenta da riproduzione
	Cavallo / stallone da macello
Muli e Asini	Tutte le categorie rica
Pecore	Tutte le categorie rica

segue

NIR	RICA
Capre	Tutte le categorie rica
Conigli	Da macello e da riproduzione
Ovaiole	Galline da uova
Pollame da carne	Polli da carne, broilers, pulcini, oche, anatre, tacchini, quaglie faraone, piccioni, fagiani, pernici, struzzi

collana POLITICHE PER L'AMBIENTE E L'AGRICOLTURA

ISBN 978-88-8145-246-0