ACCADEMIA DI AGRICOLTURA DI TORINO
FONDATA DA RE VITTORIO AMEDEO III NEL 1785
DECRETO PRESIDENTE DELLA REPUBBLICA 14 SETTEMBRE 1984

IL BIOSEQUESTRO DEL CARBONIO IN AGRICOLTURA

Giorgio Masoero

FEASR

E.R.A.PR.A PIEMONTE
ENTE REGIONALE PER L'ADDESTRAMENTO E IL PERFEZIONAMENTO PROFESSIONALE IN AGRICOLTURA

mipaaf
ministero delle politiche agricole alimentari e forestali

PSR

Programma di Sviluppo Rurale 2014-2020
Misura 1 - Operazione 1.2.1-1
ATTIVITÀ DIMOSTRATIVE E DI INFORMAZIONE IN CAMPO AGRICOLO

REGIONE PIEMONTE

INIZIATIVE PREVISTE NELLA DOMANDA DI SOSTEGNO N° 20201062914 TRASMESSA IN DATA 30/09/2016 AI SENSI DEL PSR 2014-2020 DELLA REGIONE PIEMONTE
MISURA 1 – OPERAZIONE 1.2.1 - AZIONE 1:
"ATTIVITA' DIMOSTRATIVE E DI INFORMAZIONE IN CAMPO AGRICOLO"

Presentazione

Il cambiamento climatico in corso è legato all'aumento nell'atmosfera dei gas serra ed in particolare della CO_2, che ha superato le 400 ppm contro le 290 del 1900 facendo registrare un incremento medio di 2,4 ppm/anno. Nel dicembre 2015, durante la XXI Conferenza delle Parti tenutasi a Parigi (COP21), è stato riconosciuto l'importante ruolo dell'agricoltura per la mitigazione del cambiamento climatico. In questo contesto, di particolare evidenza è il ruolo che il suolo riveste nel sequestro e nello stoccaggio del Carbonio. Il suolo infatti ne costituisce il maggior serbatoio terrestre. Rispetto al contenuto dell'atmosfera, quello del suolo ad essa sottostante è infatti 3 volte superiore. Occorre quindi spostare l'attenzione dall'atmosfera al terreno e più precisamente alla sostanza organica del suolo, che costituisce la base della fertilità e concorre a una migliore utilizzazione dell'acqua. Le foreste, i pascoli e i terreni agricoli coprono più di ¾ del territorio dell'Unione Europea e contengono una grandissima quantità di Carbonio sotto forma di sostanza organica. Per mitigare il cambiamento climatico è quindi importante, da un lato evitare la dispersione del Carbonio nell'atmosfera, dall'altro aumentarne l'assorbimento e il sequestro. Incrementare di soli 0,1 punti percentuali l'assorbimento di CO_2 atmosferica e sequestrare il Carbonio nel suolo come sostanza organica, permetterebbe di eliminare l'equivalente delle emissioni annue nell'atmosfera di 100 milioni di automobili (Palazzetti). Il biosequestro da parte delle piante avviene per fasi successive, che iniziano con l'assorbimento della CO_2 atmosferica attraverso il processo di fotosintesi da cui deriva la trasformazione del Carbonio in biomassa, per arrivare al trasferimento del Carbonio nel suolo. A questo punto è importante evitare che il Carbonio venga nuovamente disperso nell'atmosfera per causa di pratiche agricole troppo intensive quali le lavorazioni profonde. Questo purtroppo è già avvenuto con l'introduzione dell'agricoltura intensiva, che ha provocato in molti terreni perdite di Carbonio e riduzione dei quantitativi in essi stoccati. Il passaggio da un'agricoltura intensiva a forme di agricoltura conservativa più rispettose dell'ambiente, basate sulla minima lavorazione (*minimum tillage*), sulla non lavorazione (*no tillage*), sulle colture di copertura (*cover crops*), rappresenta la via primaria per incrementare il sequestro del Carbonio da parte dell'agricoltura. In ciò avvalendosi anche di input esterni di Carbonio organico, quali l'aggiunta di *biochar* o di compost.

E’ quindi importante che i PSR promuovano quelle pratiche di gestione dell’agricoltura che favoriscono il sequestro del Carbonio, attraverso incentivi finanziari agli agricoltori che le attuano.

Il testo inquadra la tematica del sequestro di Carbonio da parte dell’agricoltura, introducendo alcuni concetti di base, per passare all’esame degli accordi internazionali di Kyoto e di Parigi, e arrivare a descrivere le diverse tipologie di credito nel mercato del Carbonio. Affronta poi il tema del debito di Carbonio della produzione agricola, riportando esemplificazioni riferite ad alcune produzioni agricole analizzate mediante il metodo del *Life Cycle Assessement* (LCA). Sviluppa infine il tema del biosequestro del Carbonio nel suolo partendo dalla sostanza organica in esso contenuta (SOS), di cui ne evidenzia l’importanza e riporta i risultati di analisi condotte attraverso specifici modelli di studio. La trattazione prosegue presentando l’effetto del biota nel suolo per poi prendere in esame le possibilità di sequestro derivanti dall’agricoltura conservativa e dall’agricoltura simbiotica.

In appendice è riportato una sorta di glossario sui termini, sugli acronimi e sulle definizioni maggiormente ricorrenti nella trattazione di questa tematica, che risultano particolarmente utili per meglio conoscere questa complessa materia, per la quale ricerca e sperimentazione hanno prodotto buoni risultati ma che necessita ancora di ulteriori approfondimenti.

Il Presidente dell’Accademia di Agricoltura

Professor Pietro Piccarolo

IL BIOSEQUESTRO DEL CARBONIO IN AGRICOLTURA

Giorgio Masoero

INDICE

INTRODUZIONE

1 – STATO DELL'ARTE

1.1- Fotosintesi e respirazione delle piante

1.2- Protocollo di Kyoto

1.3- Conferenza di Parigi, COP21 e disimpegno USA

1.4- Il mercato del Carbonio

2 - IL DEBITO DI CARBONIO DELLA PRODUZIONE AGRICOLA

2.1- L'impronta carbonica (CF) e ciclo di vita (LCA)

2.2- LCA della mela Melinda e altri

2.3 – LCA per la zootecnia

2.4 – LCA per la viticoltura

2.5 - Crescita e/o sviluppo

3 – IL BIOSEQUESTRO DEL CARBONIO NEL SUOLO

3.1- Sostanza organica del suolo (SOS)

3.2 – Un modello di studio e applicazioni

3.3 – Agricoltura conservativa

3.4 – Il Biota Microbico del suolo (BMS)

3.5 – Agricoltura simbiotica e Litterbag-NIR

4 - CONCLUSIONI

4.1 Le azioni per il biosequestro

4.2 PSR

Allegato 1: Alcune definizioni

Allegato 2. Istituti e Organismi impegnati negli studi sul Carbonio

INTRODUZIONE

Il cambiamento climatico in corso è legato all'aumento nell'atmosfera dei gas serra e in particolare della CO_2, che ha superato le 400 ppm contro le 290 ppm del 1900, facendo registrare un incremento medio di 2,4 ppm/anno. Nel dicembre 2015, durante la XXI Conferenza delle Parti tenutasi a Parigi (COP21), è stato riconosciuto l'importante ruolo dell'agricoltura per la mitigazione del cambiamento climatico. In questo contesto, di particolare evidenza è il ruolo che il suolo riveste nel sequestro e nello stoccaggio del Carbonio. Il suolo infatti ne costituisce il maggiore serbatoio terrestre. Rispetto al contenuto dell'atmosfera, quello del suolo ad essa sottostante è infatti 3 volte superiore. Occorre quindi spostare l'attenzione dall'atmosfera al terreno e più precisamente alla materia organica del suolo (SOS), che costituisce la base della fertilità e concorre a una miglior utilizzazione dell'acqua. Le foreste, i pascoli e i terreni agricoli, coprono più di ¾ del territorio dell'Unione Europea e contengono una grandissima quantità di Carbonio sotto forma di sostanza organica. Per mitigare il cambiamento climatico è quindi importante, da un lato evitare la dispersione del Carbonio nell'atmosfera, dall'altro aumentarne l'assorbimento e il sequestro. Incrementare di soli 0,1 punti percentuali l'assorbimento di CO_2 atmosferica e sequestrare il Carbonio nel suolo come sostanza organica, permetterebbe di eliminare l'equivalente delle emissioni annue nell'atmosfera di 100 milioni di automobili (Palazzetti). Il biosequestro da parte delle piante avviene per fasi successive, che iniziano con l'assorbimento della CO_2 atmosferica attraverso il processo di fotosintesi da cui deriva la trasformazione del Carbonio in biomassa, per arrivare al trasferimento del Carbonio nel suolo. A questo punto è importante evitare che il Carbonio venga nuovamente disperso nell'atmosfera a causa di pratiche colturali troppo intensive quali le lavorazioni profonde. Questo purtroppo è già avvenuto con l'introduzione dell'agricoltura intensiva, che ha provocato in molti terreni perdite di Carbonio e riduzione dei quantitativi in essi stoccati. Il passaggio da un'agricoltura intensiva a forme di agricoltura conservativa più rispettose dell'ambiente, basate sulla minima lavorazione, sulla non lavorazione, sulle coltura di copertura (*cover crops*), rappresenta la via primaria per incrementare il sequestro del Carbonio da parte dell'agricoltura. In ciò avvalendosi anche di input esterni di Carbonio organico, quali l'aggiunta di *biochar* o di compost.

È quindi importante che i PSR promuovano quelle pratiche di gestione dell'agricoltura che favoriscono il sequestro del Carbonio, attraverso incentivi finanziari agli agricoltori che le attuano.

Il testo inquadra la tematica del sequestro del Carbonio da parte dell'agricoltura, introducendo alcuni concetti di base, per passare all'esame degli accordi internazionali di Kyoto e di Parigi, e arrivare a descrivere le diverse tipologie di credito nel mercato del Carbonio. Affronta poi il tema del debito di Carbonio della produzione agricola, riportando esemplificazioni riferite ad alcune produzioni agricole analizzate mediante il metodo *Life Cycle Assessement* (LCA). Sviluppa infine il tema del biosequestro del Carbonio nel suolo partendo dalla sostanza organica in esso contenuta (SOS), di cui ne evidenzia l'importanza e riporta i risultati di analisi condotte attraverso specifici modelli di studio. La trattazione prosegue presentando l'effetto del biota nel suolo per poi prendere in esame le possibilità di sequestro derivanti dall'agricoltura conservativa e dall'agricoltura simbiotica.
In appendice è riportato una sorta di glossario sui termini, sugli acronimi e sulle definizioni maggiormente ricorrenti nella trattazione di questa tematica, che risultano particolarmente utili per meglio conoscere questa complessa materia, per la quale ricerca e sperimentazione hanno prodotto buoni risultati ma che necessita ancora di ulteriori approfondimenti.

Il Presidente dell'Accademia di Agricoltura
Professor Pietro Piccarolo

1 – STATO DELL'ARTE

"*In natura nulla si crea, nulla si distrugge, tutto si trasforma*" e si ricicla. Il nuovo non esiste, tutto è già stato usato, riciclato. Un atomo di C in media sarà usato 200 volte prima di finire per sempre intrappolato in una roccia calcarea in fondo all'oceano. Un atomo di azoto sarà usato da 300 a 1300 volte prima di finire per sempre bloccato nei detriti in fondo all'oceano. Un atomo di fosforo circolerà 46 volte sulla terra prima di bloccarsi. Un atomo di calcio avrà invece una vita poco avventurosa e dopo una sola utilizzazione scomparirà dalla scena, sostituito da quello che si libera dalle rocce e dal suolo in grande quantità.

La forma più pura e preziosa del C, il diamante, è estremamente rara. Anche la grafite è un minerale di puro C, che ha raggiunto la temperatura di 1200 °C ma non la pressione di 50000 atmosfere che lo avrebbe impreziosito notevolmente. La banca del C è l'oceano, che ne contiene circa 40000 Gt, il 93% del totale, in parte disciolta, ma la forma chimica più abbondante è il carbonato di calcio e magnesio che si trova nelle rocce sul fondo. Il suolo organico e minerale ne contiene circa 1500 Gt (il 4%) , mentre l'aria (800 Gt) e l'intera biosfera (600 Gt) assieme ne contengono poco meno (il 3%). Poco? Eppure questa piccola quota nell'atmosfera (1.7%) minaccia la stabilità climatica della terra: secondo il CDIAC 1 ppm di CO_2 nell'aria equivale a 2,13 Gt (Giga-ton, miliardi di ton) di C in libera circolazione. Le riserve di C fossile sono un bene in esaurimento: non si può conoscere quando, visto che nuovi tipi di estrazione allungano il termine, e peggiorano l'effetto serra.

1.1 Fotosintesi e respirazione delle piante

Le piante e gli organismi fotosintetici del mare (importantissimi contando per il 50% del totale) estraggono il C dalla CO_2 presente in atmosfera o sciolta nell'acqua. La reazione di base per la vita è: $6\ H_2O + 6\ CO_2 + \text{energia (luce)} = C_6H_{12}O_6$ (zuccheri) $+ 6\ O_2$

Dagli zuccheri fotosintetizzati si generano gli altri composti ossia i carboidrati e i lipidi (grassi) che sono ternari (CHO) e composti proteici detti quaternari in quanto contenenti l'Azoto (N). Poiché nel conteggio del C il metro è la CO_2, vediamo in che rapporti ponderali stanno C e CO_2: C peso atomico 6; O peso atomico 8, CO_2 peso molecolare 22, dunque il C è 6/22 = 0,2727 di CO_2, per avere l'equivalente CO_2 di C lo si divide

per 0.2727. Come visto sopra: +1 ppm di CO_2 nell'aria diventa +2,13 Gt di C e 7,81 Gt di CO_2.

Le prime stime del rendimento fotosintetico vennero calcolate da un campo di mais. Per questo era necessario conoscere i dati relativi alla biomassa prodotta nel campo. Una volta conosciuta la biomassa era possibile stimare il rendimento: si verificò che il 98% della radiazione incidente non veniva usato nella fotosintesi. Misurazioni più recenti indicano che la resa fotosintetica raramente supera il 3.5%; in condizioni particolari (es. in serra) si arriva all'8%. Per le piante terrestri una maniera diretta è quella di misurare i cambiamenti di concentrazione di CO_2 nell'aria attorno alle piante. Esiste un preciso rapporto tra quantità di energia solare catturata da una pianta e la quantità di CO_2 scambiata con l'atmosfera. L'energia solare necessaria perché avvenga la reazione è esattamente 709 kcal. Perciò lo scambio di 6 moli di CO_2 indica che sono state assorbite 709 kcal. il peso atomico del C è 12 quindi lo scambio di 6 x 12 = 72 g C equivale ad introitare 709 kcal. Naturalmente la stessa equivalenza si ha anche nel processo opposto che è quello della respirazione cellulare.

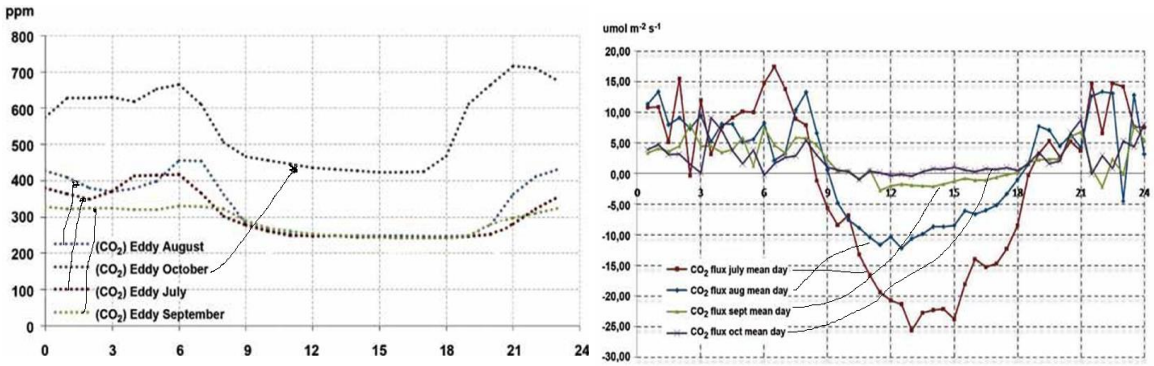

Figura 1. Andamento della concentrazione di CO_2 (ppm) (a sinistra) e del flusso di CO_2 (a destra) nelle 24 ore in un campo di mais a Luglio, Agosto, Settembre ed Ottobre.

La Fig. 1 (sin.) mostra come la concentrazione di CO_2 si abbassi durante le ore "lavorative" delle piante di mais per rialzarsi durante la sera e la notte, tranne ad Ottobre dove i valori sono ben al di sopra dei massimi di Mauna Loa (v. oltre), grazie alla respirazione delle piante, quasi mature, e del suolo. A destra appare il valore del flusso netto di CO_2 assorbito (a credito con segno meno) e della CO_2 emessa dal campo (a debito, con segno positivo). La massima assimilazione si ha nel mese di Luglio, ad Agosto si riduce e da settembre la situazione di debito è pressoché costante. I dati sono di

Marco Acutis e Coll realizzati in ambito del Progetto "AGRICO$_2$LTURA" della Regione Lombardia, con la complessa tecnica della c.d. *Eddie Covariance***.**

La scoperta di una risposta della natura ai cambiamenti climatici è stata fatta da *Charles David Keeling* all'osservatorio di Mauna Loa, un'isola vulcanica del Pacifico che è posta a 2102 km dall'equatore e a 7900 dal polo Nord. Come illustra il celebre grafico di Keeling (Fig. 2) oltre alla tendenza inequivocabile all'aumento costante pari a +1.73 ppm/anno (ma in accelerazione negli ultimi anni) si nota una tipica oscillazione stagionale.

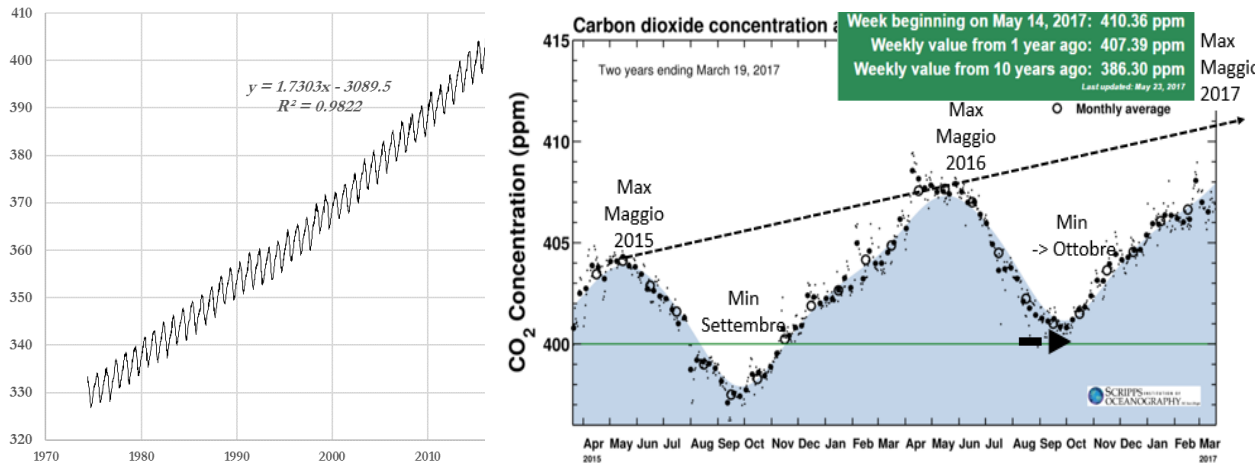

Figura 2. Curva di crescita della CO_2 atmosferica dal 1965 al 2016 (a sin.) e andamento stagionale (destra) della concentrazione a Mauna Loa.

Raggiunto un massimo intorno al mese di Maggio il livello comincia a scendere e raggiunge il minimo a Settembre, poi riprende a salire, e così via. Ma se ogni anno i valori di minimo e massimo si innalzano di circa 2 ppm l'escursione fra il massimo e il minimo è di 7 ppm. A cosa è dovuto ciò? A due fondamentali motivi: a) nell'emisfero Nord del Globo si trova molta più terra emersa che nell'emisfero Sud; b) la fotosintesi globale (nelle piante e negli oceani) supera la respirazione globale a partire da Maggio, mentre a Settembre la fotosintesi rallenta e prevale la fase respiratoria delle piante e del suolo. E' da notare che mentre il massimo dei ppm si colloca a Maggio, la fase finale della stagione verde tende a prolungarsi verso Ottobre e a ritardare. Dunque il mondo va verso un vero "*greening*": la CO_2 è un ben riconosciuto e studiato fattore di crescita per le piante. Ma vi sono altri aspetti meno rosei per l'umanità. Infatti si è notato (Fig. 3) che il "respiro globale" si fa più profondo - ben oltre i 7 ppm - man mano che dalle latitudini

beate di Mauna Loa (si trova all'altezza di Cuba) ci si sposta verso il polo Nord, proprio dove è concentrato il "radiatore" del mondo, la massa di freddo che garantisce la stabilità termica del pianeta rispedendo nelle profondità dello spazio la quantità superflua di energia cosmica che inonda la terra.

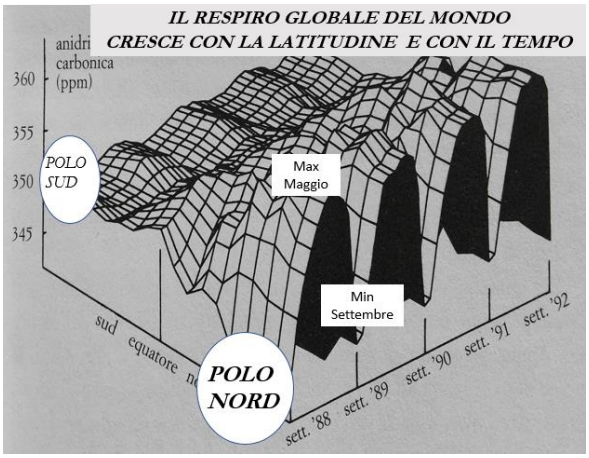

Figura 3. La "polarizzazione" delle stagioni.

Mentre il mondo verde è molto acido (il pH misurato nel picciolo fogliare va da 3,0 in *Vitis Riparia* a 6,5 nella Zucca) il mondo azzurro è alcalino, con un pH che nel 1995 era intorno a 8,10 a Mauna Loa. L'oceano assorbe circa un quarto della CO_2 rilasciata nell'atmosfera ogni anno. Inizialmente, molti scienziati si sono concentrati sui benefici dell'oceano che rimuovono questo gas serra dall'atmosfera. Tuttavia, decenni di osservazioni sull'oceano mostrano ora che c'è anche un lato negativo: la CO_2 assorbita dall'oceano sta cambiando la chimica dell'acqua di mare, un processo chiamato *acidificazione oceanica*. La Fig. 4 mostra come sia in atto una elevazione della CO_2 disciolta nell'acqua, parallela a quello dell'aria, mentre il pH sta diminuendo da circa 8,10 nel 1995 a 7,98 previsto per il 2035. Corrisponde ad appena -0,03% annuo, ma trasformato H^+ da Logaritmo a concentrazione, in 40 anni si tratta di un aumento del 30%. I crostacei, con i loro gusci calcarei, se stanno già accorgendo. Inoltre è segnalata una riduzione della quantità di Ossigeno disciolta negli oceani e questa è una grave minaccia per la biodiversità

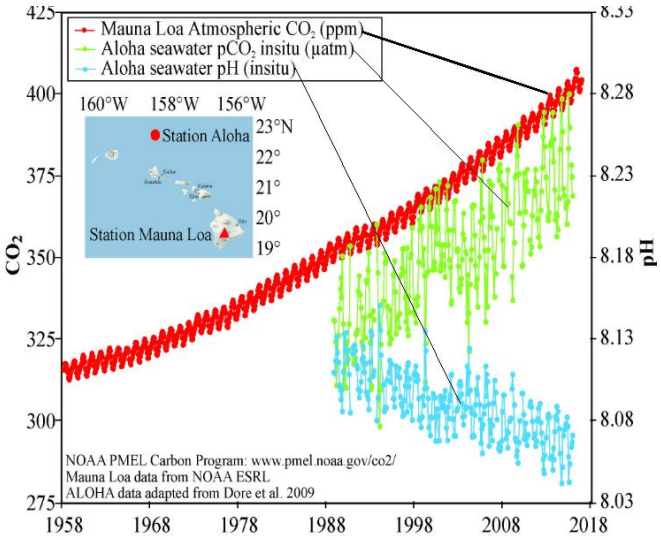

Figura 4. Andamento crescente della concentrazione di CO_2 (ppm) nell'aria e nell'oceano (pCO_2, centro) e decrescente del pH (in basso, scala destra).

1.2 Protocollo di Kyoto (PK)

Approvato a dicembre 1997 comportava un periodo di impegno per ridurre le emissioni di gas serra tra il 2008 e il 2012.

La Tab. 1 riporta i numeri esatti di partenza espressi in t: notare la precisione Svizzera! pensate che ogni abitante ne emette circa 7 per anno; ora le emissioni ufficiali sono espresse in Gg (Giga g = Miliardi di g) che equivalgono a 1000 t (Kilo t), ma correntemente si usano le Mt (Mega t = milioni di t = 0,001 Gg). Sono dunque le emissioni totali concesse per il periodo 2005-2008 dalla linea base 1990 scontato del 6,5%.

Tabella 1. Emissioni consentite ai 39 Paesi aderenti al PK per il periodo 2005-2008.

	t CO_2 (2005-2008)			1990 Mt	2008 - 1990	2012-1990 %	2015 Mt	2015/ 1990 %
Totale 39 Paesi	132374294050		100	132374,3				
Russian Federation	16617095319		13	16617,1	0		17608,95	6
Japan	5928257666		4	5928,3	-6		1252,89	
Ukraine	4604184663		3	4604,2	0			
Canada	2791792771		2	2791,8	-6			
Poland	2648181038		2	2648,2	-6			
EU Community 15	19621381509	100	15	19621,4				
Germany	4868096694	25		4868,1	-8		777,9	
UK and N.Ireland	3412080630	17		3412,1	-8			
France	2819626640	14		2819,6	-8			
Italy	2416277898	12		2416,3	-8	-6,5		
Spain	1666195929	8		1666,2	-8			
Netherlands	1001262141	5		1001,3	-8			
Belgium	673995528	3		674,0	-8			
Greece	668669806	3		668,7	-8			
Portugal	381937527	2		381,9	-8			
Sweden	375188561	2		375,2	-8			
Finland	355017545	2		355,0	-8			
Austria	343866009	2		343,9	-8			
Ireland	314184272	2		314,2	-8			
Denmark	276838955	1		276,8	-8			
Luxembourg	47402996	0		47,4	-8			
Somma EU15	19620641131			19620,6				
Diff. Tab.EU Kyoto ?	740378			0,7				
USA 1990				5659,2	-7		6108,0	8
CINA 1990				2200,0			10641,8	384

In particolare i Paesi devono: 1-aver calcolato la loro quantità assegnata in tonnellate di equivalenti di CO_2 (CO_2eq); 2- aver predisposto ed avviato un sistema nazionale per la

stima delle emissioni e degli assorbimenti di gas serra e trasmettere tali informazioni annualmente al Segretariato; 3- aver predisposto ed avviato un registro nazionale delle emissioni per contabilizzare le quote di emissioni rilasciate, possedute, trasferite, restituite e cancellate e trasmettere tali informazioni annualmente al Segretariato; 4- dimostrare che l'utilizzo dei meccanismi è solo aggiuntivo rispetto alle azioni intraprese a livello nazionale.

Di quanto si sono impegnati a scendere i 37 Paesi dal 2005 al 2008 rispetto al 1990? Non tutti uguali (da 0 a -8% v. colonna 5). Dopo il 2008 le percentuali sono state riviste in diminuzione e in proiezione al 2012, per l'Italia da -8 a -6,5. *Come stava andando al 2015*? In base ai dati della tabella notiamo che gli USA, che non hanno ratificato Kyoto, sono a +8 dal 1990. Anche la Russia segna un +6 . Invece, la Cina ha quasi quadruplicato i GS ed è ora il primo emettitore mondiale.

Il meccanismo regolatore del PK è il c*ap and trade (*cappello e commercio*)* e le parti devono raggiungere i loro obiettivi in base sia: a) misure nazionali obbligatorie pagate dagli Stati Sovrani (es agevolazioni per le energie alternative o il risparmio energetico); b) formazione e crescita di un libero mercato mondiale del Carbonio su basi volontarie, impostato su tre meccanismi flessibili*:* K1-2-3**.** *K1- Emission Trading, ETS* prevede la possibilità per i Paesi dell'Annesso I di acquistare unità di riduzione da altri paesi Annesso I ed utilizzarli per rispettare la loro quota di emissione. Per il III° periodo (2013 - 2020) per gli impianti stazionari obbligati al permesso di quote di emissione. Si tratta di impianti dotati di: caldaie; bruciatori; turbine; riscaldatori; altiforni; inceneritori; forni vari; essiccatoi; motori; pile a combustibile; torce; post-combustori termici o catalitici che superano la soglia di potenza termica installata di 20 MW. Ogni gestore che non restituisca un numero di quote di emissioni sufficienti a coprire le emissioni emesse durante l'anno precedente sarà obbligato a pagare un'ammenda per le emissioni in eccesso pari a 100 € per tonnellata, ovviamente si darà da fare per acquistare le quote mancanti, che hanno un costo molto inferiore (7-8 €). Viceversa un credito di quota può essere venduto a chi si trova in situazione di debito. Il sistema EU-ETS è il più grande mercato di CO_2eq. Nel corso del 2015, l'Italia ha collocato 69 milioni di EUA (*European Unit Allowance* = 1 t CO_2eq) italiane valevoli per il periodo 2013-2020, con proventi per oltre 527 M€ (prezzo medio 7,6 €/t). *K2- Joint Implementation (JI)* prevede la possibilità per i paesi Annesso I di realizzare progetti di riduzione delle emissioni o aumento degli assorbimenti in un altro Paese Annesso I (tipicamente paesi dell'est europeo e Russia), e

conteggiare le unità di riduzione conseguenti per il raggiungimento del proprio obiettivo quantificato. *K3- Clean Development Mechanism (CDM)*. prevede la possibilità per i Paesi Annesso I di sviluppare progetti di riduzione delle emissioni in Paesi non Annesso I (Paesi emergenti e in via di sviluppo) e utilizzare le conseguenti riduzioni certificate per rispettare i loro obiettivi di riduzione. Secondo quanto previsto dall'art. 12 del Protocollo di Kyoto tale meccanismo mira anche ad aiutare i paesi non Annesso 1 a raggiungere uno sviluppo sostenibile e contribuire all'obiettivo ultimo della Convenzione.

Il PK introdusse quattro nuove strategie.

LULUCF (*Land Use, Land-Use Change and Forestry)* uso del suolo, cambiamenti di uso e silvicoltura con relative emissioni ed assorbimenti. Trattative lunghe e controverse originate dalle incertezze e difficoltà tecniche di stima delle emissioni-base (baseline) e degli assorbimenti da LULUCF, hanno portato i negoziatori a un trattamento diverso dai settori contemplati in allegato A, prevedendo per la contabilizzazione delle emissioni e degli assorbimenti i sensi dell'articolo 3, paragrafi 3 e 4. In sostanza i suoli sono attribuiti a una destinazione d'uso, nella fattispecie: foreste, coltivazioni agricole, prati e pascoli, zone umide, insediamenti antropici, altre destinazioni.

FM (Forest Management) Gestione forestale: si riferisce ad un sistema di pratiche per la gestione e l'utilizzazione di terreni forestali. Le superfici riguardano entrambe le foreste naturali e le piantagioni, ma queste devono rispondere ai parametri forestali concordemente fra i Paesi.

CM (Crop Management) Gestione terreni agricoli: si riferisce al sistema di pratiche del suolo normalmente coltivato e sulla terra che viene messa da parte o temporaneamente non è utilizzata per la produzione agricola.

GM (Grazing Management) Pascoli: si riferisce al sistema di pratiche di terreni utilizzati per la produzione di bestiame volto a manipolare la quantità e il tipo di vegetazione e del bestiame prodotta; *Revegetation (RV)* è definito come una attività antropica diretta di aumentare gli stock di C nei siti attraverso il ripristino di vegetazione che copre una superficie minima di 0,05 ettari e non soddisfa le definizioni di afforestazione e riforestazione; *Deforestazione (D)* si riferisce alla conversione di superficie forestale ad un stato non boschivo; *Afforestazione Riforestazione (AR)*. Le regole di classificazione e riclassificazione e il metodo di conteggio dei crediti di C di natura forestale sono oggettivamente complicate. Quelle di C agricolo sono inesistenti:

contano solo le emissioni di GS e nulla valgono le sottrazioni di CO_2 nei prodotti e nei residui vegetali nel suolo in quanto effimere.

1.3 Conferenza di Parigi, COP21 e disimpegno USA

Nel 2007 il Consiglio Europeo ha approvato il *piano 20-20-20* (riduzione unilaterale delle emissioni) -20% di emissione dei GS nel 2020 rispetto al 1990; +20% del consumo di energia in EU deve essere soddisfatto da energie rinnovabili; +20% di efficienza energetica. Nel 2014 viene approvato il *EU 2030 framework for climate and energy policies*. Infine nel 2015 ben 196 Paesi aderiscono agli Accordi di Parigi. Gli obiettivi possono essere così riassunti: mantenere l'aumento medio della temperatura mondiale di fine secolo ben al di sotto di 2°C rispetto ai livelli preindustriali come obiettivo a lungo termine; puntare a limitare l'aumento a 1,5°C, dato che ciò ridurrebbe in misura significativa i rischi e gli impatti dei cambiamenti climatici; fare in modo che le emissioni globali raggiungano il livello massimo al più presto possibile, pur riconoscendo che per i paesi in via di sviluppo occorrerà più tempo; procedere successivamente a rapide riduzioni in conformità con le soluzioni scientifiche più avanzate disponibili. Una revisione è prevista ogni 5 anni. I paesi di vecchia industrializzazione erogheranno 100 Mrd$ all'anno (dal 2020 al 2025) per diffondere in tutto il mondo le tecnologie verdi e de-carbonizzare l'economia. Un nuovo obiettivo finanziario sarà fissato al più tardi nel 2025. Potranno contribuire anche fondi e investitori privati. L'accordo dà il via a un meccanismo di rimborsi per compensare le perdite finanziarie causate dai cambiamenti climatici nei paesi geograficamente più vulnerabili, che spesso sono anche i più poveri. I controlli saranno autocertificati, nonostante che i paesi più industrializzati avessero predisposto affinché gli organismi internazionali controllassero se ogni paese rispetta le sue quote di emissioni; gli emergenti (soprattutto la Cina) hanno chiesto e ottenuto, invece, che ogni stato verifichi le proprie. Ancora nessun intervento su aerei e navi. Le emissioni di un volo tra Pechino e Roma, per esempio, sono per definizione internazionali e nessun paese vuole conteggiarle tra le sue. Ancora una volta i gas di scarico di aerei e navi sfuggono a ogni controllo. Importante strumento è il Registro Nazionale di Contribuzione *(Nationally Determined Contribution NDC)***.** Ciascun Paese aggiorna un proprio Registro Nazionale e lo comunica a Bonn. Per l'UE ogni membro partecipa al circuito EIOne**t** *(Environmental Information and Observation Network*) dell'Agenzia

Europea dell'Ambiente (AEA). Dopo gli accordi di Parigi i singoli Paesi devono dotarsi di un piano nazionale di mitigazione. finora 162 su 190 parties lo hanno fatto. l'Italia rientra nella UE. Ancor prima di Parigi, a Riga, a novembre 2015, l'UE28 nella comune ratifica *dichiarò che al 2030 ridurrà almeno del 40% le emissioni domestiche nei GS* (ma attenzione non specifica se si tratta di un -40 *pro-capite* come ha fatto Israele o dei totali. Le emissioni medie *pro-capite* in tutta l'UE sono scese da 12 tCO_2eq del 1990 a 9 nel 2012 (-19) e si dovrebbe scendere a circa 6 nel 2030 (-50). Le emissioni nell'UE hanno raggiunto il picco nel 1979. L'obiettivo è almeno dimezzare le emissioni globali entro il 2050 rispetto al 1990.

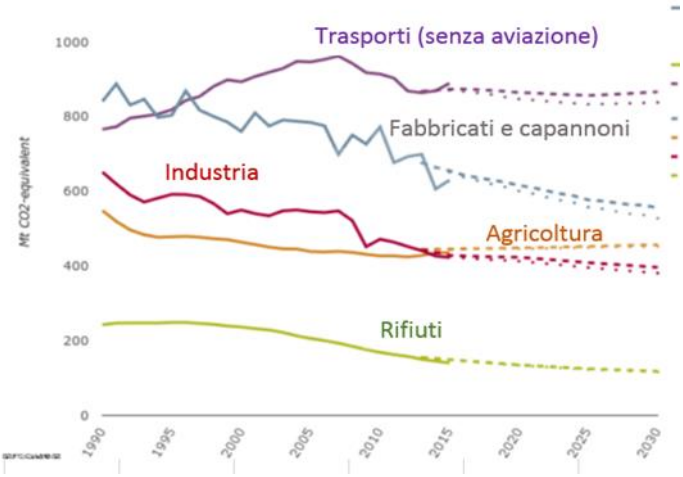

Figura 5. Tendenza delle Emissioni di Gas-Serra della UE e proiezioni al 2030 in base alla decisione sulla condivisione degli sforzi.

Dalla Fig. 5, non è ben chiaro come sarà raggiunto il previsto risparmio del 40% sul 1990: sul totale infatti si ricava un -21% . Solo l'industria (-38%), i fabbricati (-34%) e i rifiuti (-32%) si avvicinano, ma non l'agricoltura che è in aumento dopo il 2015 (-23% al 2030) e soprattutto i Trasporti (+9%) Evidentemente qui mancano i consumi energetici e le fonti rinnovabili oltre allo stoccaggio di C nelle foreste che è previsto in forte aumento per rimboschimenti e piantumazioni. Sulla scala centenaria il legno usato per edilizia e manufatti è totalmente a credito, ma per riscaldamento e *pellets* genera dei GS e neppure pochi: in Veneto il riscaldamento domestico a biomasse legnose rappresenta la principale fonte di emissione per PTS, PM10 e PM2.5, ma quanta CO_2eq? Le fonti tacciono su questo elemento di spargimento sempre più diffuso. Per l'Agricoltura si intende includere il LULUCF in un quadro stabilito non appena le condizioni tecniche lo consentiranno in ogni caso prima del 2020. Non è previsto nessun contributo da meccanismi di crediti internazionali del C. La metrica di riferimento per il sequestro di C

si applica ad una scala temporale di 100 anni**.** I settori interessati dalla mitigazione sono in pratica tutti (Energetico e Trasporti, Industriale, Agricolo, Rifiuti, LULUCF).

Negli USA in media sui 25 anni (1990-2014) l'agricoltura ha inciso per l'8,3% dei GS, ma dai conteggi sono esclusi i combustibili, compresi nell'energia, la quale rappresenta l'83,9% del totale. Gli USA sono un Paese grande e molto rigoglioso, infatti il credito di mitigazione ricevuto dalle foreste supera il debito agricolo, generando un netto di -136Mt, ovviamente esclusi carburanti ed energia.

La svolta USA contro gli Accordi di Parigi ha avuto conseguenze immediate sul bilancio delle Istituzioni (ONU e americane) che si propongono una lotta ai cambiamenti climatici**.** Il rilancio del Carbone ancora non ha manifestato il danno all'ambiente, ma le avrà se pensiamo che gli USA sono il secondo Paese emettitore di GS dopo la Cina, terzo è l'UE. Dopo la scoperta dei *shale-gas* è sostanzialmente diminuito il consumo di carbone e di petrolio, mentre è sicuramente aumentato il consumo di suolo agricolo, devastato dalla centuplicazione dei pozzi e dall'inquinamento del suolo e sottosuolo, dell'acqua e dell'aria con centinaia di prodotti chimici segreti, ed ora di CO_2 liquida. Le intenzioni di Parigi degli USA (Fig. 6) evidenziavano un triplo salto in basso, ogni 5 anni fino a -26-28% nel 2025. E' troppo presto per capire come stanno andando veramente le cose, i numeri delle varie fonti non sono uniformi.

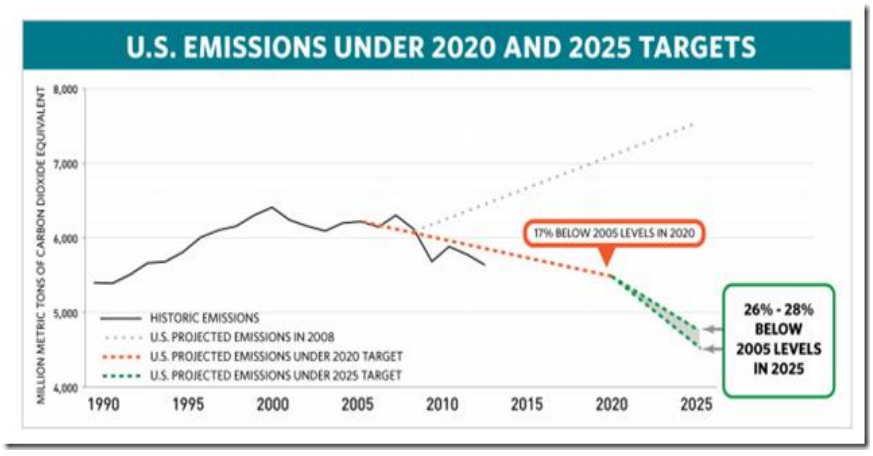

Figura 6. *Nationally Determined Contribution USA (Parigi, 2015).*

1.4 Il mercato del Carbonio

Intorno alla CO_2eq si è creato un vasto ordine di interessi a carico di figure debitorie e a vantaggio di altre figure creditrici. Il tutto nel quadro di materie prime e trasformate, che animano un mercato globale, in cui si muovono attori pubblici e privati. A seguito del PK, 37 Paesi si sono riconosciuti debitori di CO_2eq in quanto forti consumatori di energie fossili. Il sistema per comprare e vendere le quote di emissione, infatti, ha una sua

borsa, con indici e bollettini di vendita, intermediari finanziari e aste di assegnazione: un *business* che in Europa si sta trasformando in una bolla pronta ad esplodere. In circolazione ci sono 2 Mrd di quote in eccesso che secondo Bruxelles non valgono più niente perché nessuno vuole acquistarle. E il motivo, paradossalmente, starebbe nel minor livello di inquinamento prodotto dalle industrie durante la crisi economica. Una buona notizia per l'ecosistema, ma non per la finanza ambientale. Per capire come il tentativo di riduzione di GS si sia trasformato in un ginepraio di interessi finanziari occorre fare un passo indietro. Il meccanismo di *emission trading* europeo è stato messo a punto nel rispetto del PK e dal 2005 consente a ogni Stato di assegnare ad aziende e industrie un determinato numero di quote di CO_2eq: veri e propri permessi ad emettere gas serra nell'atmosfera entro certi limiti, pena pesanti sanzioni. Nonostante ricerca e innovazione oggi consentano di produrre in modo sostenibile, le aziende (specie quelle con infrastrutture obsolete) hanno bisogno di maggior tempo per adeguare i propri impianti. La crisi ha ulteriormente rallentato questi investimenti. Quindi, l'unico modo per evitare le sanzioni da inquinamento è ottenere quote di CO_2eq. Solo una parte dei diritti di emissione è assegnata gratuitamente: il resto, infatti, viene acquistato sul mercato e la quotazione segue un meccanismo borsistico. E' a questo punto che il confine tra tutela dell'ambiente e finanza si confonde. Il meccanismo di compravendita ha un costo strutturale, poiché servono operatori e intermediari specializzati. In poche parole, dei *Carbon Broke*r. Che sono per lo più società di consulenza energetica attive sui due fronti di scambio esistenti: quello obbligatorio (che comprende il sistema delle aste e delle assegnazioni delle quote da parte degli Stati alle aziende) e quello volontario.

Le quote statali sono i Certificati Verdi (CV) emessi dal GSE su richiesta dei produttori di energia da fonti rinnovabili (IAFR, FER). Si tratta di certificati che corrispondono ad una certa quantità di emissioni di CO_2eq risparmiate rispetto ad un impianto alimentato con fonti fossili (petrolio, gas naturale, carbone ecc.). I CV possono essere accumulati e venduti successivamente, ad esempio quando il valore sia cresciuto a seguito della domanda di mercato. Nel 2005 il valore venne fissato dal mercato a 108,92 €/MWh al netto dell'IVA per 86136 certificati verdi emessi per complessivi 4308 GWh. Come sono andati dal 2005? Dal 1 gennaio 2016, il meccanismo dei CV è sostituito da una nuova forma di incentivo. I soggetti che hanno già maturato il diritto ai CV conservano il beneficio per il restante periodo agevolato, ma in una forma diversa. Il nuovo incentivo si ottiene accedendo a GRIN, il sistema informatico del GSE che gestisce il riconoscimento

delle tariffe. Il GSE comunica i prezzi di ritiro dei CV rilasciati per la produzione da rinnovabili; per il 2014 è stato pari a 97,42 €/CV che è risalito a 100,08 nel 2015, ma si è dimezzato nel 2016 (42,38). *Chi acquista i certificati Verdi?* Chi è obbligato in quanto produttore o importatore di energia ed è iscritto allo sportello *operatori del mercato elettrico*. I CV vengono emessi su base mensile, compatibilmente con l'ottenimento da parte dei gestori di rete delle misure della produzione lorda e dell'energia immessa in rete, relativamente agli impianti qualificati IAFR. I CV vengono quindi classificati, oltre che per anno, anche in base al mese di riferimento ai fini della corretta individuazione del trimestre di riferimento per il successivo ritiro. Il mercato dei certificati verdi organizzato dal GME garantisce: *liquidità*; *trasparenza* (i prezzi che sul mercato sono pubblici e accessibili a tutti); *sicurezza* (il GME opera sul mercato in qualità di CONTROPARTE CENTRALE e garantisce il buon fine delle operazioni).

I Certificati Bianchi**,** anche noti come "Titoli di Efficienza Energetica" (TEE), sono titoli pubblici negoziabili che certificano il conseguimento di risparmi energetici negli usi finali di energia attraverso *interventi e progetti di incremento di efficienza energetica*. Il sistema dei certificati bianchi è stato introdotto nella legislazione italiana dai decreti ministeriali del 20 luglio 2004 e prevede che i distributori di energia elettrica e di gas naturale raggiungano annualmente determinati obiettivi quantitativi di risparmio di energia primaria, espressi in Tonnellate Equivalenti di Petrolio risparmiate (TEP). Un certificato equivale al risparmio di 1 TEP. Le aziende distributrici di energia elettrica e gas possono assolvere al proprio obbligo realizzando progetti di efficienza energetica che diano diritto ai certificati bianchi oppure acquistando i TEE da altri soggetti sul mercato dei Titoli di Efficienza Energetica organizzato dal GME. Il Registro TEE conta 1831 operatori che operano nel quadro nazionale (Tab. 2). L'agricoltura consuma poco più del 2%.

Nel mercato obbligatorio si trattano titoli per i colossi industriali che di solito inquinano oltre i limiti consentiti e sono quindi costretti per legge ad aderire al sistema di scambio. E' questo mercato che monetizza il valore delle quote. Ma c'è anche un mercato volontario, accessibile ad aziende che non sarebbero costrette a compravendere le quote perché all'interno dei parametri di emissione. Un comparto, quest'ultimo, che è forse l'unico a tutelare davvero l'ambiente. Il ricavato è devoluto di *default* a progetti *green,* ad esempio quelli legati alla riforestazione. Alle imprese non entra in tasca un euro, al massimo un benefico ritorno d'immagine (il c.d. *greenwashing*). Nel mercato

obbligatorio invece i ricavi vanno agli Stati membri e alle aziende virtuose che diminuendo le emissioni possono vendere le proprie quote.

Tabella 2. Consumi finali di energia (Mtep Milioni di t equivalenti Petrolio) in Italia.

Mtep	Totale 2014	%	Solidi	Gas	Petrolio	Rinnovabili	Energia. el.	Totale 2015	%
Industria	27,929	23	2,677	11,471	3,948	0,034	9,308	27,437	22
Trasporti	38,117	32		0, 901	36,735	1,145	0,911	39,691	32
Usi civili	43,422	36		23,504	3,007	6,292	13,816	46,619	37
Agricoltura	**2,712**	**2,3**		**0,139**	**2,136**	**0,009**	**0,468**	**2,752**	**2,2**
Usi non energetici[1]	5,298	4	0,057	0,568	4,948			5,573	4
Bunkeraggi[2]	2,291	2			2,578			2,578	2
Totali	119,76	100	2,734	36,583	53,352	7,479	24,501	124,65	100

[1]Usi non energetici principalmente dovuti all'industria chimica per i derivati del petrolio
[2]Rifornimento di flotte un natante e/o motonave per mezzo di diverse tipologie

Dalla sua adozione a livello europeo, nel 2005, il meccanismo obbligatorio ha coinvolto più di 16 mila impianti industriali e secondo i dati del Gestore dei servizi energetici (GSE), l'ente che colloca all'asta le quote di CO_2eq per conto dell'Italia, nei primi sette mesi del 2013 Roma ha ricavato circa 268 M€ (su un totale europeo di 1,6 Mrd €). Un risultato migliore rispetto all'intero anno precedente (quando la Penisola è riuscita a piazzare solo 76 M€ di diritti di emissione) ma inferiore a quello della Germania che con più di 400 M€ nello stesso periodo è prima nella classifica dei guadagni. Ma l'Italia non è la sola ad aver faticato nel collocare le quote a disposizione. Sembra, infatti, che in Europa l'offerta abbia superato pericolosamente la domanda. Una minor richiesta di permessi significa che la produzione europea sta diventando più *green*? Se così fosse, ci sarebbero buone notizie per l'ambiente. Ma non per la finanza ambientale. Fino a pochi anni fa una t di CO_2 valeva tra gli 11 e i 20 euro, ma con la crisi e il conseguente crollo della produzione industriale europea il prezzo è precipitato tra i 4 e i 5 euro. Il crollo produttivo ha avuto l'effetto paradossale di rendere più facile il rispetto dei limiti imposti, trasformando le quote da appetibili ad indesiderate. Quando l'eccedenza raggiunse circa 2 Miliardi di permessi Bruxelles approvò il ritiro di circa 900 M per far rialzare i prezzi. Il rastrellamento (in gergo *backload*) ricorda per certi aspetti l'intervento comunitario nel settore dell'agricoltura, misura che permette di togliere di mezzo le eccedenze (di burro o latte ad esempio) per evitare che i prezzi dei prodotti si annacquino. In questo caso, però,

ad essere salvati non sono tanto i progetti e le ricerche in sistemi produttivi sostenibili, ma gli interessi finanziari sottostanti al mercato dei crediti di Carbonio. Confermando il suo intervento, dunque, Bruxelles ha tramutato per sempre un meccanismo di tutela ambientale in uno strumento di speculazione degno di *Wall Street*. Solo negli ultimi anni, dopo il crollo dei prezzi del mercato obbligatorio, l'offerta volontaria ha guadagnato quote. Nel 2015 ha raggiunto 329,8 Mt di CO_2eq, certificati da operatori USA:

*California based Verified Carbon Standard – VCS***.** Ha certificato quasi la metà di tali crediti contratti nel 2015.

*Gold Standard – GS***.** Ha certificato il 20% del mercato

Climate Action Reserve – CAR. Ha certificato il 20% del mercato

*Plan VIVO – PV***.** Ha certificato il 2% del mercato

Per quanto riguarda i tipi di attività di mitigazione certificati, la maggior parte dei progetti sono progetti di energia eolica, seguiti da progetti per ridurre le emissioni derivanti dalla deforestazione e dal degrado delle foreste (REDD +) e dalle emissioni di metano dal trattamento dei rifiuti nelle discariche. Complessivamente, questi tre tipi di progetti rappresentano più di due terzi del volume totale effettuato nel 2015. Vale la pena ricordare anche progetti per una Cottura ad alta efficienza (*Clean Cookstove)*. Anche se rappresentano solo leggermente al di sotto del 7 per cento del volume del credito negoziato, a causa dei prezzi medi più alti, il loro valore di mercato ammonta a quasi il 10 per cento del totale.

Esempio italiano: *Carbonsink*, Spin-off accademico dell'Università di Firenze. Nella primavera del 2015, ha lanciato la prima piattaforma B2B italiana per l'acquisto sul mercato volontario di crediti di Carbonio certificati accuratamente selezionati dai nostri esperti: www.faircarbon.it. Ecco alcuni progetti attuali.

1) MAPUTO – Mozambico. Stufe da cucina efficienti a carbone. Crediti: 4000.
2) ECOMAPUA' – Brasile. Riforestazione e sviluppo sostenibile. Crediti 10000.
3) CEARA' – Brasile. Rinnovabili e depurazione delle acque. Crediti 10000.
4) MERU – Kenya. Stufe da cucina efficienti a legna. Crediti 10000.
5) ELDORET – Kenya. Stufe da cucina efficienti a legna. Crediti 10000.
6) DORI – Brasile. Rinnovabili e risparmio idrico. Crediti 10000.

1.5 – Il sequestro da cattura (*CO_2 Capture and Storage: CCS*).

Esiste una tecnologia di recupero della CO_2 direttamente dai gas degli impianti industriali. Una volta compressa allo stato liquido la CO_2 è trasportata altrove e

sprofondata nella terra, in particolare nei pozzi di petrolio esauriti ma, soprattutto, dove si deve creare pressione per estrarre *shale-gas*. Il costo del processo è di 60-90 $ /t e non pareggia certamente il valore dei certificati obbligatori (10 €) in Europa. Da Novembre 2017 l'UE sta rivedendo la propria politica energetica con l'intenzione di introdurre una forte *Carbon Tax* che rianimerà il mercato delle rinnovabili e la vera *green economy*. Un Paese anormale è la Norvegia - ove si incentiva anche con 20000 € l'acquisto di un'auto elettrica - che ha imposto da anni una *carbon tax* così elevata da rendere conveniente la CCS. Dopo la CCS già emerge la CCSU, dove U sta per *Utilization*, in quanto dalla CO_2 si possono ri-creare altre materie organiche, utilizzando ovviamente processi altamente endoenergetici e iper-tecnologici, orizzonti da sogno che solo un nucleare da fusione pulita (e non da scissione radioattiva) potrà supportare. Eppure la cellula vegetale ha già in se' la soluzione: CO_2, come il pane per le piante!

2 - IL DEBITO DI CARBONIO DELLA PRODUZIONE AGRICOLA

Quanta energia occorre per la vita (quota di mantenimento e produzione)? Cominciamo dall'uomo. Il nostro consumo energetico corrisponde a quello di due lampadine, una di 65 W e una di 15 W, che sono sempre accese (costo "elettrico" ipotetico di 0,6 €/giorno); di queste due la piccola serve esclusivamente per far funzionare il cervello, il quale necessita di un alimento esclusivo, il glucosio che è il più semplice degli zuccheri. Nel corpo sono immagazzinate 160 000 Kcal, costituite per il 15% da proteine e per l'84,5% da lipidi, i quali sono altamente energetici grazie al loro alto contenuto di C e povertà di Ossigeno. Di contro, una bovina in lattazione con 40 kg di latte, necessita di 1500 W (costo "elettrico" 10 €/giorno) corrispondenti a 19 persone. Quindi, una mandria di 100 bovine consuma energia come 1900 uomini. I sottoprodotti respiratori delle sostanze organiche (zuccheri, lipidi e proteine) sono l'acqua e la CO_2, prodotto dall'uomo in ragione di circa 1 kg/giorno e dalla vacca in proporzione simile a quella sopra accennata per il consumo energetico, 14 kg, crescente con l'aumentare della produzione. Ma le bovine aggiungono all'aria un altro frutto della loro "ruminalità": oltre mezzo kg di metano (CH_4) che conta per 25, dunque raddoppia l'effetto serra della CO_2.

Il mondo degli umani (specialmente gli occidentali) è molto energivoro. Si calcola che il 40% della produzione primaria netta (la fotosintesi terrestre) sia catturato dall'uomo, che lascia per ora il 60% agli animali selvatici e alle risorse naturali, ma la forte tendenza è a vantaggio dell'uomo. Ogni anno vengono tagliate foreste non per produrre legname e

carta (siamo ancora forti consumatori di cellulosa) bensì - purtroppo - direttamente per la distruzione mediante abbruciamento, immaginatevi con quale abbondanza di CO_2; così si passa immediatamente alle coltivazioni da esportare. Riprendono tuttavia le piantagioni, in aree Europee e Nord Americane i boschi stanno ricrescendo. Nel 2015 la FAO nel Global *Forest Resources Assessment*, ha pubblicato le statistiche di 234 Paesi (243 pagine di dettagliate tabelle, compresi gli incendi). La situazione mostra segnali incoraggianti di una migliore gestione forestale e un rallentamento globale nella deforestazione. Tuttavia, questa tendenza deve essere rafforzata, specialmente in Paesi che sono in ritardo.

E' la più comune e giusta opinione che l'agricoltura catturi l'energia solare e la renda disponibile all'uomo: è la Produzione Primaria Netta. Era ed è ancora vero per l'agricoltura di sussistenza. Per la moderna agricoltura non è più così: il bilancio energetico complessivo è tanto meno favorevole quanto più si allunga e si complica la filiera produttiva.

Per soddisfazione personale, possiamo almeno conoscere quanta CO_2 è contenuta nei composti organici prodotti dall' attività agricola? Sorge un piccolo problema. Il C nell'agronomia è per antonomasia quello ristretto alla fase organica del suolo che è rapportato alla quantità di N, cioè il ben noto rapporto C/N. Invece, sulle etichette e neppure sulle analisi è consuetudine riportare il C contenuto, si tratti di prodotti principali, secondari o residui. Tuttavia poiché in etichetta si trovano Zuccheri, Lipidi e Proteine, un valore approssimativo si ricava dalle formule molecolari medie di Zuccheri, di 20 Aminoacidi e di 12 Acidi grassi con glicerina come riportato nella Tab. 3.

Tabella 3. Incidenza molare media di C negli Zuccheri, Proteine e Lipidi e moltiplicatore per il valore di CO_2eq.

	Elemento Peso atomico	C 6	H 1	O 8	N 7	Peso Molecolare	C	xCO_2eq (C/0.2727)
Zuccheri	Formula chimica media	6	12	6	0			
	Peso relativo	36	12	48	0	96	38	1,4
20 Amminoacidi - > Proteine	Formula chimica media	5,3	9,7	2,3	1,5			
	Peso relativo	31,8	9,7	18,4	10,2	70,1	45	1,7
12 Acidi grassi e Glicerolo -> Lipidi	Formula chimica media	13,6	22,4	3,0	0,0			
	Peso relativo	89,6	28,1	24,0	0,0	141,7	63	2,3

Quindi, conoscendo il contenuto in % di Zuccheri, Proteine e Lipidi sulla sostanza secca moltiplicati per 1,4; 1,7 e 2,3 rispettivamente si avrà il valore CO_2eq immagazzinato nel prodotto. Esempio, Mele Golden delicious:

Zuccheri 10,7% * 1,4 + Proteine 0,4% * 1,7 + Lipidi 0,1% * 2,3 = 15,9 CO_2eq / 100 grammi = 159 grammi CO_2eq/kg.

*Ecco un credito di C che deriva all'agricoltura dalla Produzione Primaria Netta (la fotosintesi produttiva). Il lettore prenda ben nota che di tutto ciò non se ne farà nulla perché il nostro credito è destinato a scomparire a breve termine per causa della digestione e soprattutto della respirazione***.** Insomma**,** questa CO_2 è stata sequestrata soltanto per un momento, ritenuto irrilevante per l'economia globale, che ragiona in termini di sequestri centenari; fra qualche tempo la CO_2 sottratta all'atmosfera le sarà debitamente restituita**.** Infatti **t**utti gli organismi viventi respiratori fanno la reazione inversa alla fotosintesi, ossia da Zuccheri, Proteine e Lipidi, mediante una lenta combustione enzimatica con l'Ossigeno, l'organismo o il microrganismo riceve l'energia per fare funzionare le catene del metabolismo.

2.1- L'impronta carbonica (*Carbon Footprint* = CF) e ciclo di vita (*Life Cycle Assessment* = LCA)

L'impronta carbonica rappresenta la quantità di energia fossile consumata per produrre un bene definito, *dalla culla alla tomba* (cioè dalla nascita allo smaltimento) comprese le fasi di preproduzione, produzione, distribuzione, uso, riuso, manutenzione, riciclaggio e dismissione finale. Si esprime in CO_2eq. Per il calcolo si ricorre alle metodiche LCA (*Life Cicle Assessement*) in italiano Ciclo di Vita.

E' un metodo che valuta un insieme di interazioni che un prodotto o un servizio ha con l'ambiente considerando l'intero ciclo di vita, e cioè includendo le fasi di pre-produzione quali l'estrazione, la produzione e il trasporto dei materiali impiegati, di produzione, di distribuzione e di dismissione finale. L'obiettivo è quello di definire le interazioni con l'ambiente di un prodotto o di un servizio, fornendo le informazioni necessarie per conoscere oggettivamente gli effetti sull'ambiente di una data attività produttiva. La normativa è codificata nelle serie ISO 14000 di cui la sola veramente agricola riguarda il settore Forestale (ISO 14064). Non è un procedimento semplice né breve. Esso richiede specialisti ben formati e ben forniti degli elementi del conteggio, che sono tra l'altro ceduti a pagamento da banche dati private.

2.2- LCA della mela Melinda e altri

L'Associazione *Assomela* ha fatto calcolare all'Istituto di S. Michele all'Adige (Fondazione Edmund Mach, una vera eccellenza della Ricerca mondiale) il CF della mela Melinda. Il risultato dei calcoli rivela che per ciascun kg di mele occorre consumare 46 grammi di CO_2eq agricola (gasolio, trattamenti, concimi, irrigazione, raccolta ecc.), mentre per la post-raccolta (lavaggio, conservazione, trasporti, imballaggio ecc..) ne occorrono circa il doppio, 81 grammi. In totale dunque 127 grammi è il debito di CO_2eq. Il consumo di energia elettrica rappresenta l´*input* principale nella filiera produttiva della mela nel post-raccolta e si concentra principalmente nei processi di refrigerazione. L´uso di energia elettrica da fonti rinnovabili riduce del 75% l´impronta carbonica che si avrebbe usando l´energia prodotta da fonti non rinnovabili, portandola su valori inferiori a quelli della produzione in campo. Nello scenario più realistico per la realtà del Trentino-Alto Adige il *packaging* diventa il processo in cui si sviluppano i maggiori impatti in termini di impronta carbonica.

Ebbene, secondo la Tab 3, in base alla composizione chimica della mela (18% SS, 12 % di Zuccheri, 0,36% proteine, 0,1% Lipidi) si può dimostrare che in 1 kg di mele contiene 159 grammi di CO_2eq. In questo caso da 46 grammi di CO_2eq consumata l'agricoltura ha prodotto 159 grammi con un rendimento positivo del 350%. Dunque, notare bene ma invano, se non ci fosse questo kg di mele sulla tavola ci sarebbero 3,5 kg di fantasmi di CO_2 nell'aria.

La Tab. 4 riporta altri casi di LCA di prodotti agricoli**.** La colonna Credito CO_2eqi rappresenta il contenuto Intrinseco di CO_2eq del kg di prodotto calcolato dalla Tab. 3. La colonna Debito , *Upstream* (= a monte) contiene il valore di CO_2eq calcolato con la LCA per i fattori agricoli e ambientali da vari Autori. Affianco, la colonna "+Debito - Credito" indica la differenza algebrica fra le due precedenti, dunque sarà positiva se il debito è maggiore del credito e viceversa negativo se la coltivazione genera un credito di CO_2. L'Indice di Resa, rappresenta il rendimento della CO_2eq catturata nel prodotto (a credito) rispetto a quella consumata per produrlo (a debito), se l'operazione è in *deficit* il segno diventa negativo e la relazione si inverte indicando il valore di negatività eco-ambientale.

Osservando la Tab. 4, dopo la Melinda che aveva indice positivo di 3,5, anche per il miele appare un indice positivo (+1,4): notare che non sono stati conteggiati i 100mila

km fatti dalle api per produrre 1 kg di miele. Le coltivazioni sono ovviamente tutte in bilancio positivo (se potessero usare energie da fonti rinnovabili lo sarebbero realmente e fortemente) con valori da +2,5 per il Sorgo a +6 per il Frumento. La Nocciolata Rigoni (-2,1) invece, consuma il doppio di quello che svilupperà nelle deliziate membra dei suoi consumatori, peggio ancora per la confettura di fragole (-3,6) o per il Caffè Illy (-3). Come da copione, ecco che le produzioni casearie sono alquanto in alto nella scala di "deficienza" con un -18,8 per il Pecorino Toscano, -12,9 per il grana Padano calando a -7,6 per l'Asiago e al minimo di -6,6 per il Parmigiano.

Tabella 4. Debito e credito di CO_2eq in vari prodotti dell'agricoltura e indice di resa.

	Zuccheri	Proteine	Lipidi	-Credito[1]	+Debito[2]	Netto	Indice[3]
Mela Melinda	10,7	0,4	0,1	-159	46	-113	3,5
Caffè (ILLY)	28,5	10,4	15,2	-925,4	2679	1754	-3,0
Nocciolata (Rigoni Asiago)	51	7	30	1523	3149	1626	-2,1
Miele di Acacia (Rigoni	75	0,4	0	-1057	735	-322	1,4
Fragolino marmellata	36	0	0	-504	1793	1289	-3,6
Formaggio Asiago DOP	2	31,4	25,6	-1151	8800	7649	-7,6
Grana Padano	0	33	28	-1205	15487,5	14283	-12,9
Gouda (Olanda)	2,2	26,9	26	-1086	8225	7139	-7,6
Pecorino Toscano	0,2	24	33	-1170	22050	20880	-18,8
San Simon da Costa	0	27	26	-1057	9100	8043	-8,6
Parmigiano Reggiano DOP	0,1	33	28	-1206	8009	6803	-6,6
Colza	6	25	45	-1544	365	-1179	4,2
Frumento	71	11,3	1,6	-1223	205	-1018	6,0
Girasole	20	20,78	51,5	-1818	401	-1417	4,5
Pisello	52,7	22	1,6	-1149	303	-846	3,8
Soia	22,7	36,7	19,1	-1381	240	-1141	5,7
Mais pianta intera	15,61	2,11	0,73	-271	125	-147	2,2
Sorgo pianta intera	20,44	2,8	0,79	-352	142	-210	2,5

[1] CO_2eqi g/kg indica il contenuto *Intrinseco* di CO_2eq del kg di prodotto, calcolato in base alla sua composizione chimica, ponderata per gli equivalenti di CO_2 (v. Tab. 3).

[2] +Debito *Upstream* (=a monte) calcolato dalla analisi LCA rappresenta il debito

[3] Indice di Resa, rappresenta il rendimento della CO_2eq catturata nel prodotto (a credito) rispetto a quella consumata per produrlo (a debito), se l'operazione è in *deficit* il segno diventa negativo e la relazione si inverte.

2.3- LCA per la zootecnia

Gli Svizzeri già 10 anni orsono avevano anticipato il valore intorno ai 10 kg di CO_2eq/kg di formaggio, seguendo un centinaio di allevamenti valutati con punteggi su 13 criteri. La loro principale conclusione era una mancanza di fattori comuni fra i migliori e fra i peggiori allevamenti, per cui ogni allevamento si presentava come un caso a parte e neppure i risultati economici erano correlabili ai risultati di efficienza ambientale. In quel fortunato Paese ove il pascolo delle vacche lattifere è ancora all'onore del mondo uno studio di confronto fra sistemi di alimentazione (Stalla *vs.* Pascolo-Silo) la mandria

alimentata in stalla, in sole tre categorie di impatto su 13 risulta essere significativamente migliore rispetto alla mandria alimentata al pascolo-Silo. Per contro la mandria alimentata al pascolo-Silo ottiene risultati migliori in sette categorie d'impatto su 13. Una delle principali debolezze di quest'ultima è tuttavia la maggiore emissione di metano (+41%) e l'elevato bisogno di superficie (x 1,5) per kg di latte. I punti deboli della mandria alimentata in stalla sono rappresentati dal disboscamento, dal consumo di risorse (P e K) e per l'ecotossicità, dovute principalmente all'alimentazione con mais e soia.

Considerando che attualmente (e in futuro) la questione principale sembra riguardare le emissioni di GS, la Tab. 5 riporta un esempio dei parametri necessari per svolgere una indagine eco-ambientale. Nella fattispecie si considerano un allevamento di conigli da carne (a Lecco) e una stalla di vacche da latte (in Svizzera).

Tabella 5. Fattori eco-ambientali a debito per kg di carcassa di Conigli e per kg di latte.

	Per kg di carcassa di coniglio[1]	Per kg di latte[2]
Global Warmig Potential – GWP (kg CO_2eq),	8,3	1,3
Acidification – AP (g SO_4-eq),	97,6	
Eutrophication – EP (g PO_4-eq),	53	
Eutrophication potential (g N-equivalents)		14
Ozone layer depletion – ODP (g CFC-11 eq),	0,00041	
Terrestrial ecotoxicity (CML) TEP (terrestrial ecotoxicity points)		0,0013
Aquatic ecotoxicity (CML) AEP (aquatic ecotoxicity points)		0,020
Photochemical oxidation (g C_2H_4 eq),	1,40	
Energy use (MJ)	47,9	
Land use (m²/anno)	16,5	0,98 – 1,4

[1]Negretti R., 2010. Tesi di laurea magistrale in Scienze agrarie presso l'Università Statale di Milano. "Applicazione della metodologia Life Cycle Assessment alla produzione del coniglio da carne".
[2]Hersener et al., 2011. Zentrale Auswertung von Ökobilanzen landwirtschaftlicher Betriebe (ZA-ÖB). Forschungsanstalt Agroscope ReckenholzTänikon ART, Zürich/Ettenhausen.

Un progetto di ricerca coordinato dal CRA (Pirlo, 2016) dal titolo "Scenari di cambiamenti climatici per gli allevamenti italiani" (SCCAI) era finalizzato all'analisi di diverse opzioni di mitigazione delle emissioni di gas ad effetto serra da applicare in alcune produzioni zootecniche e potrebbe costituire una prima, concreta risposta alle politiche sul clima a livello internazionale, dal protocollo di Kyoto a Rio+20 e – a livello europeo – dal pacchetto "Clima ed energia 2020" alla nuova Politica agricola comunitaria (II pilastro Sviluppo Rurale). Lo studio, con dati del 2014, ha quantificato l'impronta carbonica delle principali filiere zootecniche italiane. Ecco alcuni esempi (in kg CO_2eq/kg di prodotto): bovino da latte per la produzione di latte alimentare 1,2; bovino da latte per la produzione di formaggio Parmigiano-Reggiano 1,3; bovino da carne in

allevamenti da ingrasso 18,1-18,7 in kg di peso vivo; suino pesante 3,6-3,7 in kg- carne , pollo da carne 1,9; gallina ovaiola 2,4-2,5 in kg di uova.

Un esempio di eccellente LCA zootecnica è rappresentato dalla filiera ***Blanc Bleu Coer*** (BBC) francese, ossia come il lino può salvare l'ambiente, migliorare la salute dell'onnivoro e il bilancio degli agricoltori. Si tratta di una filiera zootecnica completa e particolare per il miglioramento ambientale e per la salubrità degli alimenti. Gli scienziati zootecnici da oltre 10 anni hanno dimostrato che il lino fa molto bene alla composizione del latte e anche delle carni, infatti si arricchisce con il pregiato olio di lino la composizione acidica del grasso animale attraverso i benefici acidi Omega-3 anti-ossidanti che abbondano nei pesci ma non sulle nostre tavole. L'alimentazione moderna è dominata dal mais - con i suoi oltre mille usi - e dai suoi grassi non benefici, gli Omega-6 pro-ossidanti, molto presenti anche negli altri comuni oli da cucina, tranne proprio il vituperato olio di palma. Gli Omega-3 derivavano direttamente dall'erba verde o insilata, una quasi rarità nella moderna alimentazione zootecnica in Italia, mentre in Francia, Svizzera e Paesi del nord-Europa sussiste ancora per la possibilità di pascolo. La scoperta dei Francesi è stata che in presenza di Lino, in % non elevate, il rumine genera una minore quantità di metano dunque vi è un beneficio ambientale degno di considerazione per la mitigazione dei GS. La filiera zootecnica BBC Francese è strutturata su varie produzioni ed è presente nella GDO. Ovviamente i Francesi hanno il lino, una coltura molto importante nelle rotazioni al Nord, che produce l'ottima fibra e il seme dalle rinomate virtù. Da noi si importa a non basso prezzo. Nell'alimentazione delle vacche ad alta produzione al lino è preferito il cotone, facendo ben attenzione alle micotossine.

2.4- LCA per la viticoltura

Uno studio Spagnolo ha calcolato che per produrre 1000 tappi di Champagne occorrono 51.4 kg di CO_2eq. Il settore vitivinicolo italiano manifesta la sua eccellenza certificando intere aziende vitivinicole per un insieme dei fattori Ambientali. **V.I.V.A**. (Valutazione dell'Impatto della Vitivinicoltura sull'Ambiente)

www.viticolturasostenibile.org è un Disciplinare promosso da Agroinnova (Centro di Competenza in Campo Agro-ambientale dell'Università di Torino), OPERA (Centro di Ricerca per lo sviluppo sostenibile in agricoltura dell'Università Cattolica del Sacro Cuore), Centro di Ricerca sulle Biomasse dell'Università degli Studi di Perugia) approvato dal MATTM (Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del

Mare) che ha raccolto importanti aziende del settore a certificarsi per l'impronta ambientale. Il sistema di certificazione si avvale di quattro indicatori (*Territorio, Aria, Vigneto, Acqua*) per misurare le *performances* ambientali e per descrivere la realtà socio-economica dell'azienda produttrice del vino. Gli indicatori sono stati creati sia per le aziende che per i consumatori. Le aziende possono avvalersene per valutare l'uso ottimale delle risorse; il consumatore, grazie ad un sistema semplice e trasparente, può verificare l'effettivo impegno dell'azienda in campo ambientale e socio-economico. *Territorio*: valuta le conseguenze sul territorio riguardo all'ambiente naturale (biodiversità, tutela e valorizzazione del paesaggio) e alla comunità umana residente. *Aria*: esprime il totale delle emissioni di GS, associate, direttamente e indirettamente, alla produzione di un'azienda o al ciclo di vita di una bottiglia di vino da 0,75 l. Questo valore viene espresso in kg di CO_2eq equivalenti. Il ciclo di vita della bottiglia comprende quattro grandi fasi: gestione del vigneto; trasformazione dell'uva in vino e imbottigliamento; distribuzione delle bottiglie; refrigerazione e smaltimento del vetro. *Vigneto*: parametra la gestione agronomica (uso degli agrofarmaci con le relative conseguenze su acqua, aria e suolo; gestione del suolo relativa a concimazione, gestione della sostanza organica, fenomeni di erosione e compattamento; altre attività aziendali che possono influenzare la biodiversità). *Acqua*: esprime il volume di acqua dolce consumata su scala aziendale o per la produzione di una bottiglia di vino da 0,75 l. L'acqua utilizzata nella produzione ha tre diverse origini: piovana (verde), attinta dai corpi idrici (blu), o derivata da processi di rinaturalizzazione dei corpi idrici (grigia). Il sistema vitivinicolo italiano è molto variegato: ogni azienda, infatti, presenta dei risultati condizionati dal contesto in cui opera. Gli indicatori saranno validati ogni due anni da un ente terzo (*DNV GL Business Assurance Italia* S.r.l. e altri). L'etichetta darà conto sia della performance attuale che del percorso compiuto dall'azienda nel tempo.

2.5- Crescita e/o sviluppo

C'è differenza fra Crescita e Sviluppo. La magica parola che regola le economie è: crescita. Specialmente se si ragiona in termini di Prodotto Interno Lordo (PIL). Non importa che nel piatto attivo si mettano tutte le attività comprese le riparazioni a disastri naturali e non proprio naturali, mentre al passivo non si conteggino i guasti ai beni naturali ricevuti (es. superficie di suolo agrario produttivo) e non consegnabili alle future generazioni. Crescita impone un aumento quantitativo, lordo, globale. Sviluppo, invece,

sottintende un miglioramento qualitativo che non richiede necessariamente una crescita. Abbiamo esempi di crescita con sviluppo in agricoltura? Vediamo alcuni esempi.

La vacca negli USA. Guardiamo a cosa era la vacca da latte negli USA nel 1944 e paragoniamo la situazione del 2007, in rapporto all'ambiente. E' un pregiudizio comune ritenere che i sistemi di pascolo senza una forte integrazione di insilati ad alta energia e mangimistica tipici degli anni '40 fossero più rispettosi dell'ambiente e delle emissioni di GS. Eppure il sistema attuale richiede una minima quantità di animali (-79 %), di alimenti (-77%), di acqua (-65%) e una quantità di terra ridotta del 90% **,** per produrre la quantità del 1944 di 1 miliardo di kg di latte. Dunque c'è stato un enorme sviluppo genetico, alimentare e tecnologico che ha conseguito un eclatante risultato ambientale, in quanto parallelamente le deiezioni si sono ridotte del 76% , il metano del 57% e l'N_2O del 44%. Risultato: l'impronta carbonica è complessivamente ridotta del 63%. La quasi-scomparsa del letame non ha certamente giovato alla sostanza organica del suolo, che infatti è fortemente diminuita con perdita di fertilità di base alla quale si ripara con le forti concimazioni chimiche, i diserbi e la genetica. Ma su questo punto critico gli studiosi non si applicano a far chiarezza con la stessa decisione: quali furono infatti le vere cause delle tempeste di sabbia, le *Dust Bowl* (nulla in comune con il *Super Bowl*) che negli anni 1933-35 allontanarono mezzo milione di agricoltori in rovina dagli Stati centrali, Oklahoma in particolare, mandandoli in fuga verso la California come testimoniato dal romanzo *Furore* di *J. Steinbeck*? Se furono solo siccità e vento le cause allora ha ragione Trump a invocare la "variabilità naturale degli eventi climatici". Invece, autorevoli scienziati indicarono che la fragilità del suolo, specialmente in quelli meno fertili, era stata scatenata da dissennato sfruttamento a monocoltura delle praterie, come risposta alla forte domanda di prodotti agricoli negli anni venti, dopo la prima guerra mondiale. Tant'è che il Presidente *FD Roosevelt* nei suoi primi 100 giorni fondò il *Soil Conservation Service* e intraprese le grandi bonifiche che, assieme al divieto di lavoro minorile e a salari crescenti, innescarono l'inizio della fine della crisi.

Il caso Cina. Un secondo esempio di crescita con sviluppo è quello della Cina agricola. *Wang*[1] considera i dati nazionali di input chimico per l'agricoltura e di energia per il periodo dal 1991-2014 espressi:

CF (Carbon Footprint o Impronta Carbonica Agricola: 100) =

CF (Concimi_NPK) + CF(N_2O) + CF(Pesticidi) + CF(Film_Plastici) + CF(Carbone) + CF(Gasolio) + CF(Elettricità)

Come rileva dalla Tab. 6 l'aumento medio annuo della CF stato del +2,4% con varie fluttuazioni, ma sempre in crescendo. La massima importanza è dovuta ai concimi azotati che con la emissione di N_2O raggiungono il 58,8% del totale.

Tabella 6 . Impronta Carbonica dell'Agricoltura in Cina dal 1991 al 2014 in rapporto alla Produzione Totale e indici di Crescita Annua e Totale

	1991	2014	Differenza	Crescita Annua%	Crescita Totale%
CF - Carbon Footprint ($MtCO_2eq$)	90	158	+68	2,4	176
PT- Produzione Totale (10^{12} Yen_1991)	0,82	2,93	+2,11	4,9	357
Impronta Carbonica (CF / PT)	110	54			
Produzione costante 1991		0,82			
CF 2014 a produzione fissa 1991	90	44	-46		-51

[1] Wang X., 2016. Changes in CO_2 Emissions Induced by Agricultural Inputs in China over 1991–2014. *Sustainability* 2016, 8, 414

L'incidenza relativa (%) dei componenti della formula del CF è la seguente: N (35,11); $N\text{-}N_2O$ (23,71); P (1,71); K (0,93); Pesticidi (6,36); Film_Plastici (3,07); Carbone_Grezzo (7,31); Carbone_Lavato (0,05); Coke (0,54); Benzina (1,1); Gasolio (7,96); Elettricità (12,17).

Nel contempo la produzione calcolata a prezzi 1991 costanti è aumentata al ritmo medio del 4,9% annuo. Una crescita totale del 357% in 23 anni, che è dovuta ad un incremento del CF/ha salito da circa 200 a 300 kg CO_2eq/ha. Ma dove è lo sviluppo? Dando per giusto che il valore economico a base 1991 (deflazionato) sia rappresentativo del valore tecnologico, il rapporto fra i due fattori CF totale e Produzione totale indica il CF del Prodotto appare in forte discesa e, a parità di produzione 1991, nel 2014 ha fatto registrare un risparmio del 51% (Tab. 6).

3- Il biosequestro del carbonio nel suolo

Il C stoccato nel suolo supera di 2-3 volte quello presente in atmosfera.

Aumentando la Sostanza Organica nel suolo del 4‰ (tasso di pareggio) verrebbe sequestrata l'emissione globale di CO_2

Un aumento pari a 10 per mille (1%) corrisponde al bio-sequestro di 77 t/ha di CO_2eq

Per chiarezza, è utile precisare le *equivalenze*. La Sostanza Organica del Suolo (SOS) per convenzione contiene il 58% di C, dunque 1% C corrisponde a 1/0,58=1,72 % di SOS.

Per convenzione 0,3% di C nel suolo corrispondono a 10 tC/ha (fattore 33), per cui partendo dalla misura della SOS avremo:

1%SOS*0,58 => 0,58%C => *33 => 19 tC/ha /0,27 => 72 tCO_2eq/ha

in teoria 19000 kg di C/ha al peso dell'acqua equivalgono a 1,9 mm di altezza per 1 ha.

Secondo le Linee Guida dell'IPCC (v. allegato) le variazioni negli *stock* di carbonio vengono calcolate considerando 5 tipologie di serbatoi di carbonio: biomassa fuori terra, biomassa sotto terra, lettiera, necromassa e suolo. A questo punto è già evidente che l'impostazione è di tipo forestale-naturalistico e non agronomico, tuttavia da 5 tipologie se ne conteggiano 4, ma diverse, e precisamente: 1-biomassa vivente in crescita; 2-biomassa vivente in diminuzione (tagli, incendi…); 3-variazione netta in SO morta; 4-variazione netta in SO nel Suolo. Questo è il criterio di contabilizzazione italiana (Tab. 7).

Tabella 7. Variazioni annue medie e cumulate dello *stock* nazionale del Carbonio dichiarate dal 1990 al 2009[1].

Categoria	Mt C	Anno^{-1}	∑1990->2009
Biomassa Vivente	1-Aumento	0,201	4,012
	2-Diminuzione	-0,133	-2,666
	1+2 Netto	0,068	1,346
Sostanza Organica Morta	3-Variazione Netta	0,011	0,216
Sostanza Organica Suolo	4-Variazione Netta	0,224	4,481
	Totale	0,303	

[1]ISPRA. Italian Greenhouse Gas Inventory 1990-2009. National Inventory Report 2014, 491 pag. I valori delle tabelle ufficiali sono espressi in Giga grammi (Gg: 1 milione di g), equivalenti a 1000 t, pertanto sono divisi per 1000 per ottenere il valore in Milioni di t (Mt).

Come è possibile incrementare la quota di C a credito agricolo? Vi sono tre strade: 1) aumentare la massa di carbonio improduttivo e stabilizzato nel legno, e questa è una materia forestale più che agricola; 2) iniettare nel suolo del C recuperato da altra attività, fisicamente attivo ed utile, ma inattaccabile dai microrganismi per un lungo periodo (tipo Biochar, v. oltre); 3) aumentare la massa residua delle radici e delle restituzioni delle colture, principali e secondarie, a vantaggio della Sostanza Organica del Suolo e, specialmente, del suo capitale microbico, che si andranno a riaccumulare e riattivare positivamente.

Sulla prima via si immagina di ricorrere direttamente a piantumazioni di terreni marginali o di aree improduttive. Purtroppo non andiamo bene, perché anche se osserviamo che l'evoluzione dello *stock* di C dichiarato dall'Italia dal 1990 al 2009 (Tab. 7) è positiva per circa 0,3 Mt di C annue di biomassa, delle quali ¾ rimane immagazzinata nel suolo,

trattasi di ben poca cosa rispetto ai consumi di CO_2eq. Infatti, le nostre emissioni totali sono di circa 500 Mt per anno. Ecco allora che 0,3/0,2727 = 0,8 Mt CO_2eq sono pari ad appena lo 0,16%. Se pensiamo che **l'obiettivo del 4 per mille esteso a tutte le terre coltivate sarebbe sufficiente ad assorbire tutte le emissioni di CO_2** (IPCC) ecco che 1,6 per mille non è un valore catastrofico ma è ben al disotto della sostenibilità ambientale. Addirittura con le rinnovabili l'obiettivo è puntare al 17% dell'energia consumata.

La terza via, quella prettamente agricola, è molto avara di cifre ma è la più suggestiva, in quanto ha dinanzi una grande opportunità: la conclamata carenza di Sostanza Organica del Suolo (SOS, in inglese SOM *Soil Organic Matter*) indotta dai moderni sistemi agricoli intensivi che reclama una "nuova agricoltura". Le vacche sono diminuite fortemente, rimpiazzate dai suini. I liquami zootecnici, diretti o dopo passaggio nei bio-digestori (c.d. digestato) non contengono C fermentescibile: quello serve a fare il metano (CH_4) che esce dai biogas insieme alla CO_2: essi contengono C non fermentato dai batteri anaerobi e N, fonte di lussureggiamento vegetazionale ma anche una minaccia di lisciviazione per insufficiente dotazione e funzionalità di sostanza organica, di biodiversità e di vita microbica. In questo ambito rientrano l'inerbimento continuo, le colture secondarie senza o con sovescio, le lavorazioni ridotte (*minimum tillage*) o le non lavorazioni (*no tillage* o *zero tillage*), in breve tutto ciò che assume i connotati della c.d. "agricoltura conservativa", orientata alla sostenibilità agro-ambientale e alla efficienza massima, con ridotti *input* energetici e idro-chimici.

3.1- Sostanza organica del suolo (SOS)

Nonostante sia da 400 anni che si studi non vi è accordo scientifico sulla natura della SOS, sulla sua composizione e sulla sua misurazione. Lungamente indagata dai chimici con ausilio di acidi e basi estremamente forti per scomporre molecole complesse e lunghe, la tendenza attuale è di considerare come maggiormente funzionale la frazione che è semplicemente solubile nell'acqua, che è il vero "collante" della natura. In pratica si identificano tre componenti: a) residui di piante e biomassa microbica vivente; b) sostanza organica non vivente ma attiva, detta anche *detritus*; c) sostanza organica stabile (*humus*) formata dal prodotto finale della decomposizione di residui di piante, deiezioni animali e sostanze ammendanti. I vantaggi agronomici della SOS sono ben noti e possono essere raggruppati in tre categorie. Fisici. * Migliora la stabilità

dell'aggregato, favorendo l'infiltrazione dell'acqua e l'aerazione del suolo, riducendo i flussi. * Migliora la capacità di trattenimento dell'acqua. * Riduce la tenacia dei terreni di argilla, rendendoli più semplici da lavorare. * Riduce la crosta superficiale, facilitando la preparazione del semilavorato. Chimici. Aumenta la Capacità di scambio cationico (CEC) del suolo o la sua capacità di trattenere e fornire nel tempo nutrienti essenziali come il calcio, il magnesio e il potassio. * Migliora la capacità di un terreno di resistere a sbalzi di pH (capacità di tamponamento). * Accelera la decomposizione dei minerali del suolo nel tempo, rendendo disponibili i nutrienti nei minerali per l'assorbimento delle piante. Biologici. * Fornisce cibo per gli organismi viventi nel suolo. * Migliora la biodiversità microbica del suolo e le attività che possono contribuire al contrasto delle malattie e dei parassiti. * Favorisce la porosità e gli scambi di acqua e aria. La frazione di *humus* ha meno influenza sulla fertilità del suolo perché è il prodotto finale della decomposizione (da qui il termine "sostanza organica stabile"). Tuttavia, è ancora importante per la gestione della fertilità in quanto contribuisce alla struttura, alla tensione del terreno e alla CEC. Questa è anche la frazione che iscurisce il terreno.

La concentrazione della SOS è massima negli strati superficiali di suolo (30 cm) e scende più o meno rapidamente nel sottosuolo. I risultati elaborati dal JRC (Fig. 7) indicano che il contenuto di C nel sottosuolo (da -30 a -100 cm) varia molto meno rispetto al suolo.

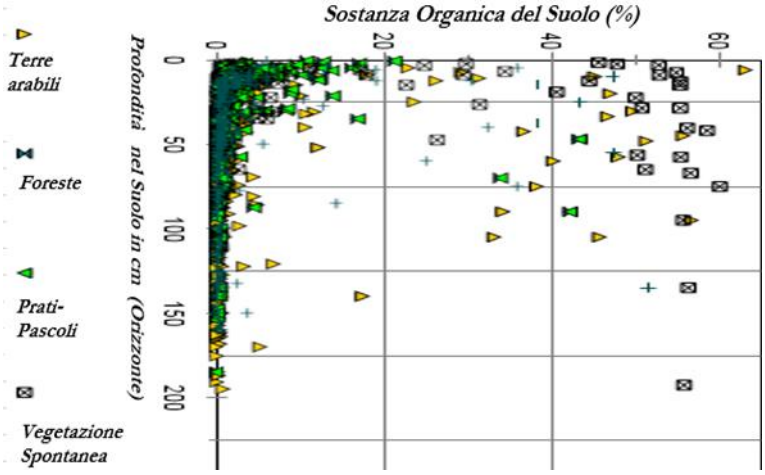

Figura 7. Distribuzione della SOS in vari siti Europei (JRC, 2009).

Nelle terre coltivate, fatto pari a 1 il contenuto di C del suolo, nel sottosuolo se ne trova circa un altro 0,55, meno sotto i pascoli e il minimo di 0,25 si trova sotto il bosco. Numerose sono le ricerche di tipo naturalistico: pochi sono i suoli agrari e per di più con SOS molto elevata (per questo gli agronomi parlano di “Suolo Minerale” per, distinguersi dalla impostazione prevalentemente naturalistica delle ricerche geo-eco-ambientali).

Nello Progetto HelpSoil 2014-16 il contenuto medio di SOS a -20 cm (intervallo 0-30) era pari a 2,6 ± 0,7%, che risultava ridotto alla metà (1,2 ± 0,4%) alla profondità di 1 metro. In termini di tC/ha il valore valido è quello dei -20 cm dunque si tratta in totale di 2,6 * 17 = 43 ± 11tC/ha, un valore medio più basso del riferimento medio europeo di 69 t/ha (Tab. 8).

Tabella 8. Riserve medie di C (tC/ha) per i diversi usi del suolo, (Bruxelles, 12.3.2012 COM 94 final). Conversione**:** 10 t/ha = 0,3% (C) = 0,3% / 0,58 = 0,5% SOS

	Biomassa Viva	SO Morta	Suolo 0-30 cm	Totale
Foreste	63	27	85	175
Coltivazioni	7	0	62	69
Pascoli	3	0	90	93

Il progetto ISPAR (Tab. 9) ha riscontrato che la SOS del Friuli rispetto al Veneto è generalmente superiore del 29% (SOS VE:1,87 e FVG 2,43%) ma più variabile.

Tabella 9. Studio della Sostanza Organica del Suolo (SOS) del C e della CO_2 per ettaro in Veneto (VE) e Friuli Venezia Giulia (FVG). (Progetto ISPAR)

	SOS%			tC/ha		tCO_2/ha	
	Veneto	FVG	FVG/ VE%	Veneto	FVG	Veneto	FVG
Pascoli	3,13	5,65	81%	60	108	222	401
Vigneti-frutteti Inerbiti	2,58	2,94	14%	47	52	174	193
Vigneti-frutteti Nudi	1,82	1,39	-24%	49	56	183	208
Inerbito/Nudo	1,42	2,11		35	27	129	99
Soia-grano	2,1	2,32	10%	40	44	149	164
Rotazione 3 anni	1,79	2,06	15%	34	39	127	146
Medica	1,65	3,41	107%	32	65	117	242
Mais	1,59	2,19	38%	30	42	113	155
Mais granella	1,69	2,39	41%	32	46	120	169
Silomais	1,43	1,87	31%	27	36	101	133
Mais-grano	1,55	1,53	-1%	30	29	110	108
Grano	1,53	1,47	-4%	29	28	108	104
Mais-soia	1,45	2,08	43%	28	40	103	147
Soia	1,37	2,03	48%	26	39	97	144
Media	1,87	2,43	29%	36	47	132	172
Dev.Standard	0,52	1,08	35%	10	21	37	77
Coeff. di Variabilità	28%	45%	118%	5	9	28%	45%

I pascoli (SOS = 3 e 5,65%) hanno il massimo di SOS e trattengono in media rispettivamente 660 o 1191 t/CO_2/ha. La medica non raggiunge che il 52% (VE) o il 60% (FVG) della SOS del pascolo. I vigneti-frutteti inerbiti (SOS = 2,46 e 2,72%) trattengono rispettivamente il 42 e il 111% in più di CO_2 dei vigneti-frutteti nudi, un valore non trascurabile. Le minori dotazioni di SOS - intorno a 1,5% - si riscontrano con la coltura del Frumento e del Mais-Frumento.

Cosa succede con la messa in coltura di un terreno fertile è ben conosciuto: una riduzione della SOS e del C. Dopo 19 anni di coltivazione a grano duro a Foggia la riduzione è stata del 15% con la monocoltura e del 13% con il maggese ogni 2 anni (Tab. 10). Però, qualcosa è cambiato soprattutto nei meccanismi del suolo in quanto le lavorazioni e la coltivazione medesima hanno ridotto il tasso di respirazione del terreno. Ciò è sintomo di minore attività microbica di tipo aerobico, ed è da rimarcare che la riduzione di attività microbica (-23 e-37%) è stata quasi del doppio rispetto a quella della perdita del solo C.

Tabella 10. Come a Foggia l'intensificazione agricola riduce il C e la respirazione nel suolo[1].

Sostanza Organica del Suolo	Suolo Naturale	Grano duro monocoltura	Grano duro con maggese
C%	1,45	1,23	1,26
SOS%	2,50	2,12	2,17
tC/ha	83	70	72
tCO_2/ha	306	259	266
	1	-15%	-13%
Respirazione, mg C-CO_2 /kg, d	13,65	10,46	8,64
	1	-23%	-37%

[1]Farina R, Francaviglia R, Felici B, Renzi G, Troccoli A. 2016. Agriculture intensification decreases soil C content and respiration activity in a Mediterranean Vertisol. Conference: EGU General Assembly 2016, Vienna : Geophysical Research Abstracts Vol. 18 EGU2016-7443

In un suolo "naturale" o abbandonato o diboscato, messo in coltivazione con aratura la Sostanza Organica si riduce immediatamente perché l'ossigeno favorisce la respirazione dei microrganismi che colonizzano una abbondante matrice organica. Con il procedere della degradazione, siccome non vi è apporto di nuova sostanza organica dall'esterno del sistema vengono a mancare gli elementi nutritivi per i microbi che ridurranno l'attività respiratoria e la riproduzione.

3.2 – Un modello di studio e applicazioni

L'efficienza dell'uso del carbonio (CUE) è un parametro fondamentale per i modelli ecologici basati sulla fisiologia dei microrganismi. La CUE determina i flussi di energia e

materiali a livelli trofici più elevati, la conversione del carbonio prodotta in piante in prodotti microbici e le percentuali di stoccaggio di carbonio dell'ecosistema. I calcoli termodinamici supportano un valore massimo CUE di ~ 0,60 (CUE max). I vincoli sulla crescita microbica suggeriscono che CUE nei sistemi naturali limitati a più risorse dovrebbe avvicinarsi a ~ 0,3 (CUE max / 2).

Il Prof Marco Acutis ha sviluppato e applicato un modello dinamico per la simulazione dei sistemi colturali con un calcolo giornaliero. Il modello prende in carico le variabili agro-meteorologiche e simula: il bilancio dell'acqua, del Carbonio e dell'azoto nel suolo; la crescita e lo sviluppo delle colture; le perdite di N per lisciviazione e percolazione; le emissioni di CO_2 dal suolo. Il modello suddivide la frazione di Carbonio nel suolo in diversi pool. Un *pool* è definibile (Smith et al., 2002) come "un compartimento che contiene materiali chimicamente indistinguibili e ugualmente accessibili alle piante o alla popolazione microbica del suolo". Sia la sostanza organica del terreno sia quella aggiunta con residui colturali o fertilizzanti organici, sono assegnate a uno o più pool; ogni pool è caratterizzato da specifiche proprietà (rapporto C/N, velocità di decomposizione, coefficienti di ripartizione dei flussi), che consentono di simularne dinamicamente la decomposizione. Il vantaggio di un approccio con più pool è di consentire una migliore rappresentazione della realtà, suddividendo in componenti diverse i materiali non sufficientemente omogenei. Il modello ARMOSA utilizza 3 pool per rappresentare la sostanza organica del terreno. I primi due, a rapida decomposizione, sono "*litter*" (L), che rappresenta i residui colturali e le radici morte, e "*manure-derived-faeces*" (M), che rappresenta le feci contenute nei reflui zootecnici; in generale, qualsiasi componente organica labile apportata al suolo va aggiunta ad L o ad M.

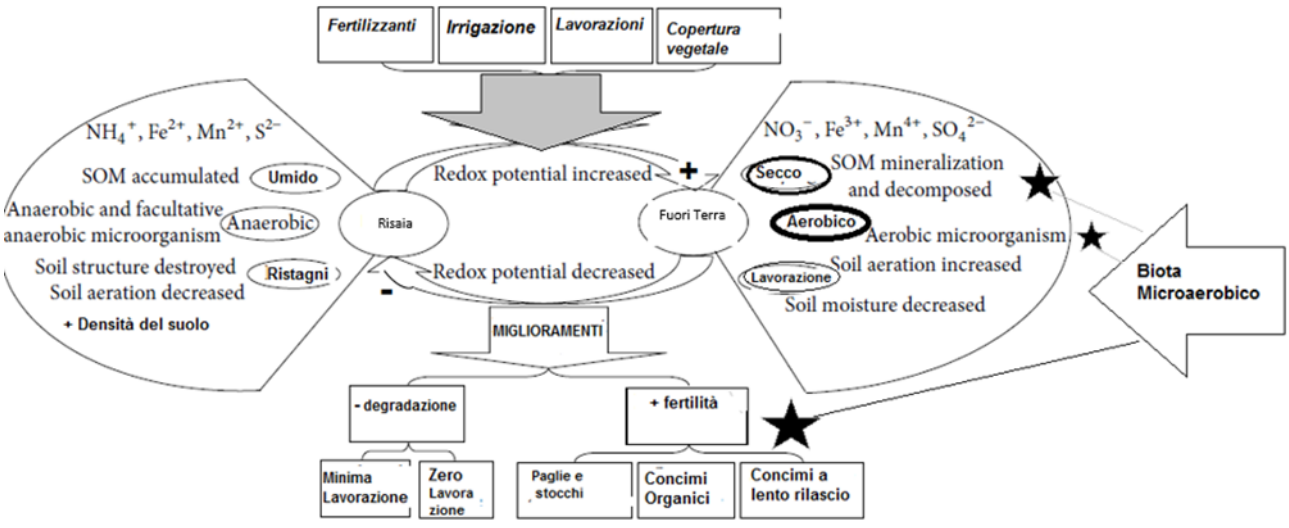

Figura 8. Schema[1] di modulazione del Redox (potenziale ossidoriduttivo) in rapporto ai principali fattori ed elementi minerali del suolo agrario. [1]Zhou et al. 2014. Soil Physicochemical and Biological Properties of Paddy-Upland Rotation: A Review. Sci. World J. 5: 856352.

I due pool consentono di gestire materiali molto diversi, poiché è possibile assegnare quelli caratterizzati da rapporti C/N più elevati al pool L e quelli con rapporti C/N più bassi al pool M. Il terzo pool, a lenta decomposizione, rappresenta l'humus (H), o sostanza organica stabile del suolo.

3.3 – Agricoltura conservativa

Nella pianura lombarda, secondo il progetto "*AgriCO₂ltura*", passando dalle tecniche di agricoltura convenzionale a quelle di agricoltura conservativa si ottiene **un aumento significativo di SOS per tutte le rotazioni**; contemporaneamente si assiste ad una sensibile diminuzione della CO_2 (-4%, -9%) rilasciata in atmosfera dai processi di respirazione della sostanza organica ad opera della massa microbica del suolo. Ciò che non appare significativo per questi risultati è l'effetto della variabile costituita dalle caratteristiche pedologiche dei vari suoli in questione.

Tale risultato indica che adottando tecniche conservative si può ottenere un aumento di SOS a prescindere dalle caratteristiche pedologiche. Appare comunque più marcato l'aumento di SOS nei suoli aventi tessitura più fine. Analizzando l'evoluzione della SOS per classe tessiturale e rotazione si può notare che, in linea generale, l'andamento tra i suoli appartenenti alla stessa classe tessiturale risulta simile. Tuttavia **è** confermato il ruolo fondamentale del tipo di rotazione e della gestione dei residui sull'evoluzione del carbonio nel suolo. Occorre chiarire che i microrganismi del suolo sanno fare di tutto, e anzitutto riprodursi se vi sono condizioni favorevoli. In particolare, anche se appare una minore respirazione aerobica, a seguito di una ridotta ossigenazione del suolo perché si lavora di meno o perché si compatta la terra ecco che si sviluppano i gruppi anaerobi (come succede nel rumine). Per cui, se registriamo un aumento di SOS avremo sicuramente anche un aumento di massa microbica in cui prevarranno i gruppi meglio rispondenti alle mutate condizioni.

Dalla bibliografia internazionale (*Bhatt, 2017*) e Italiana emerge che quando si consideri la Zero- Lavorazione, rispetto alla lavorazione con Aratura tradizionale, raggruppando 8

esperimenti di medio-lunga durata (Fig. 9) escludendo un caso anomalo si evidenzia un andamento di tipo parabolico con aumento di SOS, forte fino a 4 anni, poi rallentato, ed infine ripreso fortemente dopo 14 anni.

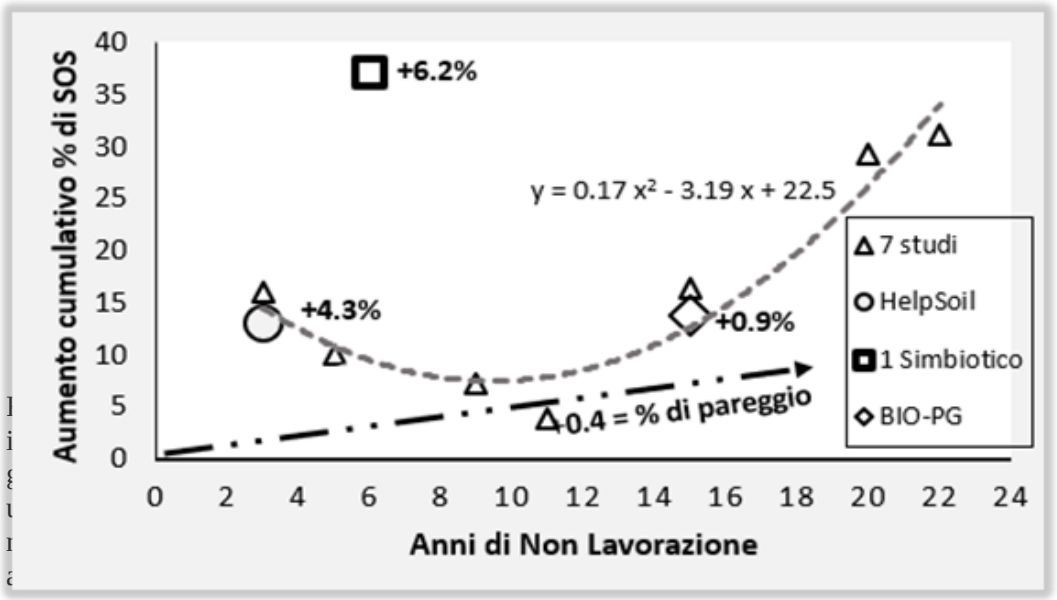

Figura 9. Aumento di Sostanza Organica del Suolo in otto esperimenti di Zero Lavorazione, risultati medi del Progetto Life HelpSoil (LifeHelpsoil, 2017), dell'esperimento BIO-PG di Perugia (Guiducci et al, 2016) e dell'azienda simbiotica (Vanzetti, 2018)

Nel progetto "*HelpSoil*" 2014-16 (Tab. 11) l'agricoltura conservativa ha dimostrato di aumentare lo stock di C nel suolo di 7 t/ha (+13%) in tre anni, il che rientra perfettamente nello schema della figura 9. Inoltre, una forte riduzione (-45%) del consumo di gasolio agricolo ha dimostrato di poter realizzare un'impronta di CO_2 negativa (-681 kg/ha) seppure alquanto variabile (±2873).

Tabella 11. Confronto dei sistemi di agricoltura conservativa e tradizionale. Risultati del Progetto Life-"*HelpSoil*" 2014-16 (20 aziende).

	Conservativa			Tradizionale			AC/ AT%
	Media	±	DS	Media	±	DS	
Gasolio agricolo (l/ha)	323	±	213	589	±	400	-45%
Impronta carbonica, CO_2eq (kg/ha)	-681	±	2873	7128	±	2797	-110%
Stock di Carbonio[1] (t/ha)	66,35	±	13.7	58,9	±	8.95	+ 13%
Incremento Stock C t/ ha 3 anni			7,45				

[1]quantitativo ("stock") di carbonio organico immagazzinato nel suolo, espresso in t per unità di superficie (ha) e calcolato per i primi 30 cm di spessore *(Batjes, 1996; Stolbovoy et al., 2006)*.

3.4 – Il Biota Microbico del suolo (BMS)

Nel suolo sono presenti un numero elevatissimo di specie microbiche, tra cui batteri, funghi (saprofiti, simbionti e patogeni), attinomiceti e microalghe. Ogni terreno ha una propria impronta microbica, come fosse una intera enciclopedia, che solo ora si sta cominciando a rivelare nella sua complessità. E' interessante notare che una parte del BMS dal suolo passa nelle piante, quelle che gli animali e noi stessi consumiamo in forma di semi, frutti, foglie ecc. Proprio dallo studio del BM intestinale dell'uomo realizzato con i più moderni e ultra-rapidi sistemi di sequenziamento del DNA è decollata la scienza dei probiotici, regolatori benefici della funzione intestinale. Questa tecnologia potrà essere applicata in futuro anche allo studio e allo sfruttamento ottimale del suolo. "***Produrre più cibo con meno risorse può sembrare troppo bello per essere vero, ma gli agricoltori del mondo hanno migliaia di miliardi di potenziali partners che possono aiutare il raggiungimento di tale ambizioso obiettivo. Quei partners sono i microbi"*** (Reid e Green, 2012).

Gli organismi più abbondanti (Tab. 12) sono i batteri, un grammo di suolo ne può contenere sino a qualche miliardo**.** Sono principalmente specie gram-positive, appartenenti al genere *Clostridium, Bacillus, Pseudomonas*. Tra gli attinomiceti i *Corynebacterium* e i *Micrococcus*. Tra i funghi saprofiti (che si nutrono di materia organica morta o in decomposizione) i *Thrycoderma* e tutte le specie filamentose che poi danno un corpo fruttifero (edule come i chiodini o i prataioli, non commestibile o velenoso). I simbionti (viventi sulle radici di piante ed alberi vivi) sono i più apprezzati funghi commestibili. I funghi simbionti ectomicorrizici sono i tartufi, mentre le specie di funghi endomicorrizici c.d. arbuscolari (perché formano come dei microscopici grappoli dentro le radici delle piante ospiti) sono i simbionti maggiormente utili all'agricoltura, noti come micorrize o meglio consorzi microbici della rizosfera, perché da sole raramente funzionano pienamente.

Tabella 12. Le popolazioni del suolo**.**

	Suolo agrario minerale	Suolo di Prateria
Batteri	Da 100 milioni a 1 miliardo	Da 100 milioni a 1 miliardo
Funghi	Numerosi metri, dominati dalla Micorrize Arbuscolari o Endomicorrize.	10-100 m dominati dalla Micorrize Arbuscolari o Endomicorrize.
Protozoi	Numerose migliaia di flagellati e amebe; numerose migliaia di ciliati.	Numerose migliaia di flagellati e amebe; numerose migliaia di ciliati.
Nematodi	Da 10 a 20 predatori di microbi; alcuni predatori di funghi; pochi predatori di nematodi.	Da una decina a numerose migliaia.
Artropodi	Fino a 100	Da 500 a 2000
Vermi	5-30	10-30

I parametri scientifici di laboratorio che rappresentano il BMS sono 4.

A) Carbonio della biomassa microbica. Tale indicatore rappresenta il Carbonio contenuto all'interno delle strutture cellulari microbiche. Esso è determinato mediante fumigazione-estrazione. L'unità di misura è mg C/kg suolo.

B) Rapporto fra C-BMS / C-SOS. Discrimina la quantità di C microbico rispetto al C Organico Totale del suolo fornendo una stima della densità microbica nel suolo. Il C-SOS (o C Totale) è determinato secondo *Springer* e *Klee* (1954).

C) Respirazione del suolo espressa in mg CO_2 / (g suolo * h). Rappresenta una stima quantitativa del CO_2 prodotta dal processo di ossidazione della sostanza organica, ad opera della popolazione microbica. Stimare la produzione di CO_2 equivale a valutare l'attività microbica totale, cioè la loro capacità di decomporre la sostanza organica del suolo. Fattori antropici e alterazioni ambientali posso inibire l'attività microbica, riducendo la decomposizione della SO e quindi la produzione di CO_2. La respirazione del suolo può essere calcolata sia in campo che in laboratorio.

D) Quoziente metabolico (qCO_2) Partendo dal valore di respirazione del suolo, si possono calcolare interessanti indici del metabolismo microbico quali: il quoziente metabolico (qCO_2) e il coefficiente di mineralizzazione endogena. Il tasso di respirazione in un ecosistema si riduce con l'evolversi verso stadi più maturi. La ridotta efficienza di ottimizzazione delle risorse disponibili ed una maggiore pressione selettiva favoriscono gli individui che sfruttano meglio le risorse. Questo concetto viene espresso nel qCO_2 che rappresenta la CO_2 evoluta dalla biomassa microbica nell'unità di tempo ed espresso come (mg CO_2 /mg C biomassa microbica * g suolo)/h. Un aumento di questo indicatore segnala situazioni di stress o perturbazioni nei microbi, mentre una sua diminuzione indica massimizzazione del rendimento delle risorse da parte dei microrganismi. Questo indicatore è quindi un "campanello d'allarme" della degradazione microbica dei suoli.

Secondo *Anna Benedetti*[1] "per avere la formazione di 1 cm di suolo fertile occorrono 1.000 anni, questo implica che il suolo è una risorsa non rinnovabile che va protetta e conservata". Ecco perché è meglio monitorare a priori questo parametro, purtroppo oggi ancora molto trascurato. Il metodo scientifico per la valutazione della fertilità obbiettiva del suolo comporta l'effettuazione di 6 prove di laboratorio (Tab. 15). La limitazione principale alla diffusione delle analisi biologiche è legata alla mancanza di metodologie rapide e a un protocollo diagnostico consolidato.

Tabella 13. La fertilità del suolo in base ai parametri chimico-biologici.

	Punteggio assegnato				
Parametri utilizzati	1,00	2,00	3,00	4,00	5,00
Sostanza organica	< 1	1-1,5	1,5-2	42796	> 3
Respirazione basale	< 5	5 -10	10 - 15	15 -20	>20
Respirazione cumulativa	< 100	100-250	250-400	400-600	> 600
Carbonio microbico	< 100	100-200	200-300	300-400	> 400
Quoziente metabolico	> 0,4	0,3-0,4	0,2-0,3	0,1-0,2	< 0,1
Quoziente di mineralizzazione	< 1	1 - 2	2 - 3	3-4	> 4
Classe di fertilità	I	II	III	IV	V
In base alla media dei punteggi riportati	stanchezza allarme	stress preallarme	media	buona	alta

[1]*Benedetti A*., 2016. Come ripristinare la fertilità biologica del suolo. L'informatore Agrario N. 29/2016: 45-48.

3.5 – Agricoltura simbiotica (AS)

L'Agricoltura Simbiotica (AS) è una tecnica che, confortata da ampie evidenze scientifiche e sperimentali, nasce dalla volontà di ripristinare, salvaguardare ed impiegare negli agroecosistemi le naturali simbiosi presenti tra i microrganismi del suolo e gli apparati radicali delle specie coltivate. La rizosfera è il volume di suolo a stretto contatto con l'apparato radicale direttamente influenzato dalla radice. Essa non è altro che la sede delle interazioni tra i microrganismi, gli apparati radicali e le componenti abiotiche del suolo. Si viene a creare quindi una complessa situazione che coinvolge i movimenti dell'acqua e dei nutrienti, le popolazioni microbiche e la sostanza organica del suolo con una rilevante modificazione dei minerali del suolo.

La base delle interazioni è determinata dalla presenza e dalla vitalità dei funghi micorrizici (per micorriza si intende la simbiosi tra radice e fungo), in particolare delle endomicorrize arbuscolari o vescicolari (AM o VAM). Le popolazioni microbiche (MAB, Mycorrhiza Associated Bacteria e MHB, Mycorrhiza Helper Bacteria) presenti intorno alle micorrize influenzano la stessa sopravvivenza e lo sviluppo della simbiosi micorrizica.

L'AS mediante l'uso sistematico di fertilizzanti iscritti al Registro nella categoria "**Inoculo di funghi micorrizici**" persegue i seguenti obiettivi:

a) aumentare la resa produttiva delle colture attraverso un migliore lussureggiamento fuori e sotto-terra con utilizzo dell'N-organico presente nel suolo ma imprendibile dalle radici;

b) aumentare la sostenibilità delle pratiche agricole favorendo i meccanismi di recupero della fertilità biologica dei suoli con bio-sequestro del carbonio e l'efficienza (asportazioni/somministrazioni) degli interventi di nutrizione minerale delle colture (fosforo, azoto, acqua) mirando a ridurre le emissioni di gas-serra dal suolo (N_2O in particolare);
c) aumentare la resistenza delle colture alle avversità idro-termo-climatiche e biotiche;
d) produrre alimenti e mangimi con maggiore *shelf-life* e maggiori proprietà antiossidanti potenzialmente trasferibili nella catena alimentare, anche al fine di elicitare connessioni fra il biota del suolo e il biota delle eccellenze locali.

Si è visto (Tab 10) come a Foggia l'intensificazione agricola abbia ridotto la SOS di circa -1% per anno e la respirazione nel suolo di -1,5%/anno. Immaginiamo ora di avvolgere al contrario il film del destino della SOS nel suolo appena descritto e osserviamo il processo virtuoso di accumulo. Esso dipenderà dalla quantità di Sostanza Organica aggiunta annualmente e da quanta ne rimarrà dopo l'attività respiratoria. Come sopra riportato (Tab 11) l'agricoltura conservativa è avviata in questa direzione, ma, attenzione, essa non aumenterà la respirazione aerobica anzi la ridurrà a vantaggio dei gruppi di microrganismi anaerobici, dunque la scena finale del filmato al rovescio non presenterà gli stessi personaggi microbici. A questo punto come si pone l'AS quando si incontra con un'agricoltura conservativa? Anzitutto va premesso che le prime prove hanno dato un certo lussureggiamento colturale proprio con le parcelle di tipo conservativo, rispetto al sistema di coltivazione ad aratura e con scarsità di SOS. Inoltre, l'AS inocula microrganismi della classe aerobica (micorrize e altri gruppi) che agiscono come rivitalizzanti del biota del suolo, i quali in media – e in situazioni molto diverse - hanno dimostrato una maggiore attività fibrolitica attaccando la parete NDF (neutra) con risparmio delle proteine contenute nelle sonde di fieno immesse nel suolo. Tuttavia, **l'accumulo della sostanza organica potrà essere determinata dal lussureggiamento delle radici**, un fatto che tutti gli studi sulle micorrize hanno ben evidenziato.
Non vi sono evidenze sperimentali in campo di prove AS di durata ultradecennale. Esiste, però, la testimonianza da un'azienda zootecnica da latte che non ha adottato la minima lavorazione (agricoltura conservativa), ma si è evoluta con le sole tecniche dell'AS ossia uso sistematico di fertilizzati con inoculo di funghi micorrizici, rotazioni colturali ed utilizzo di *cover crops*, raggiungendo un livello di SOS pari al 2,54%. Ivi la quota

iniziale di SOS era dell'1,85%; si può quindi stimare che dopo 6 anni dal cambiamento introdotto dall'uso sistematico del BMS la SOS è cresciuta del 6.2% per anno e il corrispondente stoccaggio di C è salito al ritmo di +8,8 t CO_2eq ha^{-1} per anno. Nella Figura 9 sono confrontati anche i tassi di crescita della SOS della Minima Lavorazione (+4,3%) e di una lunga prova sperimentale di coltivazione Biologica (+0,9%). Si tratta di valori multipli rispetto allo 0,4% del tasso di pareggio.

L'AS persegue la micorrizzazione come via maestra per la nutrizione fosfatica delle piante. Quando la sostanza organica del suolo sarà cresciuta in quantità e soprattutto in vitalità microbica, una parte del P asportato dalla coltura potrà essere recuperato dal serbatoio terrestre, ma occorrerà una sapiente integrazione dei piani di concimazione a medio-lungo periodo (prima sfida).

L'arricchimento microbico dello strato superficiale, aggregando il particolato organico azotato, ha conseguenze allevianti circa la riduzione delle emissioni di N_2O in atmosfera (seconda sfida).

La terza sfida per l'AS evolutiva concerne le possibilità di sequestro dell'N (direttiva nitrati) e della biodisponibilità di N per le piante: anche un osservatore attento si avvede che il lussureggiamento delle piante trattate positivamente con BM corrisponde fenotipicamente ad una concimazione azotata una "nitratazione". Nel 2016 ricercatori inglesi (Thirkell et al.) hanno finalmente risolto il paradosso dell'Azoto. Mentre la fertilizzazione con N-minerale ha dimostrato di suscitare un forte mutualismo, caratterizzato da una migliore crescita delle piante e dei funghi, mancavano risposte simili a seguito dell'aggiunta di N-organico. Mediante un esperimento di microcosmi gli AA hanno dimostrato che consentire l'accesso delle ife a un materiale organico ha migliorato il contenuto totale N e P, con un aumento simultaneo e sostanziale della biomassa vegetale (+66% sia sotto- che fuori-terra).

3.6 Litterbag-NIR

Un metodo rapido e *least-cost* per una valutazione comparativa della funzionalità microbica del suolo, a seguito di fertilizzazione con inoculo di funghi micorrizici, definita come "impronta simbiotica", è stato ideato dall'Accademia di Agricoltura di Torino. Il concetto di base è mutuato dal rumine: si tratta di valutare i microbi indirettamente in base a come avranno "digerito" un campione di fieno-standard dopo 60

giorni di permanenza sottoterra. L'operazione inizia con il confezionamento di una piccola sonda, detta *litterbag*: 5 grammi circa di fieno di montagna (*Vita Verde Small Animal Alpine Hay, della Vitakraft pet care* GmbH & Co. KG, Bremen, DE) macinato a 3 mm sono impacchettati in rete antizanzara e la *litterbag* è sotterrata in verticale fino a -10 cm. Dopo dissotterramento il campione, essiccato all'aria, ripulito e spacchettato viene esaminato *in loco* da uno strumento *smart*-NIR portatile, governato dal telefono, di ideazione israeliana (SCIO) dal costo limitato, oppure viene inviato al laboratorio. Gli spettri NIR da 730 a 1070 nm dei campioni sono registrati e conservati in una collezione centrale. La risposta del test si compendia in un "voto simbiotico" per ciascuna *litterbag*, variabile da 0 (convenzionale) a 3 (pienamente simbiotico), ottenuto dall'applicazione dei tre migliori modelli di stima validati da precedenti sperimentazioni di campo. Al momento, con otto sperimentazioni, il sistema garantisce di scoprire le false negative, ossia *litterbag* da campi trattati con il biota ma apparentemente senza risposta, con elevata sensibilità (98%) per due voti zero assegnati ad una *litterbag* (positiva) ottenuta da campo trattato con il biota. Circa i meccanismi biochimici dell'Impronta Simbiotica, gli andamenti di degradazione dei vari componenti del fieno macinato sono differenziati in labili, stabili e recalcitranti. E' chiaro che sottoterra tutto si riduce di peso e si trasforma, ma questo tipo di *litterbag* non si pesa, si osserva come variano le % relative della composizione chimica del fieno in degradazione. Infatti, ciò avviene in modo differente: i componenti labili della parete vegetale (NDF, cellulosa e fibra grezza) diminuiscono in % perché sono molto più aggrediti non già dalle micorrize bensì dai microbi anaerobi del suolo, attivati dalla reazione delle radici in simbiosi con le micorrize e anche dalla competizione diretta del biota del suolo con i nuovi microrganismi aerobici inoculati. Viceversa, i componenti recalcitranti (ceneri, proteine, lipidi e lignina) denotano un aumento % relativo e lasciano bene sperare in un avvio dei processi di umificazione della Sostanza Organica. Intorno ai 60 giorni si registra il massimo delle variazioni fra i due tipi di composti. Altri componenti non variano in %. Dalle prove di confronto con il BMS fertilizzante si è compreso e misurato che è precisamente a carico delle fibre morbide e degli zuccheri liberi che si registra un maggiore attacco da parte di gruppi celluloso-fibro-glucolitici. Per contro, i composti recalcitranti come i lipidi e le proteine risultano aumentati in % nei suoli trattati con il consorzio microbico a base di inoculo di funghi micorrizici ma contenente altri funghi e batteri. Interessante la possibilità di discriminare la tipologia di trattamento colturale

del suolo. Dal Progetto HelpSoil in 2 casi è stato effettuato il confronto fra *litterbag* Minima Lavorazione vs Aratura con il seguente risultato: riconoscimento di Aratura 73% vs 50% a caso (P=0,0001); riconoscimento di Minima Lavorazione 63% vs 50% a caso (P=0,0274).

4- CONCLUSIONI

4.1 Le azioni per il biosequestro

La FAO fedele al suo motto "***FIAT PANIS***" potrebbe estenderlo aggiungendo un: "***CARBONII ADIUTORIO***". Così si enfatizzerebbe l'allarme sulla CO_2 per la fame nel mondo. Infatti, il settore agricolo contribuisce con il 21% di emissioni GS, ma aggiungendo la trasformazione, i trasporti, la vendita, lo scarto, si raggiunge il 26%. Con la cottura domestica dei cibi si va oltre.

Esistono margini per una riduzione? Certamente sì. Il debito di Carbonio si può contenere ai vari livelli.

Riassumendo, ecco le parole chiave per la riduzione di debito.

- Diminuzione delle emissioni di metano e protossido di azoto da allevamenti e coltivazioni.
- Agricoltura conservativa, grazie a minore dispendio meccanico.
- Risparmio energetico e produzione di energie rinnovabili.
- Risparmio nelle concimazioni, per uso di matrici organiche di produzione locale e per ausilio dei microbi del suolo che agiscono su fosforo e azoto, aumentando l'efficienza fotosintetica delle colture.
- Risparmio nei trattamenti, grazie ad un suolo risanato e stimolatore delle difese naturali delle piante.

Le parole chiave per l'aumento di credito sono:

- Agricoltura conservativa: l'apporto di Carbonio organico sotto forma di residui colturali consente di ridurre il tasso di mineralizzazione della sostanza organica e quindi le perdite in ragione della riduzione dell'arieggiamento del terreno dovuto alla non effettuazione dell'aratura. Così si può generare l'accumulo di C nel suolo
- Agricoltura Simbiotica, per la crescita della sostanza organica e dei microbi nel suolo senza regressi di produzione.

4.2 PSR

Il PSR si apre alla corresponsione di aiuti economici in cambio di un biosequestro di C e di una minore impronta carbonica delle coltivazioni. Il premio serve a compensare maggiori spese e minori entrate dalle usuali produzioni.

Il perno delle operazioni è costituito dall'agricoltura conservativa, i cui benefici sono:

- sequestro del carbonio;
- risparmio di combustibili;
- controllo dell'erosione;
- maggior biodiversità;
- efficienza dei nutrienti;
- aumento fertilità;
- efficienza economica;
- impatto ambientale favorevole

Nello specifico, l'operazione 10.1.3 del PSR "Tecniche di agricoltura conservativa" si articola in tre azioni, che costituiscono gli impegni di base:

Azione 1 – introduzione delle tecniche di minima lavorazione;

Azione 2 – introduzione delle tecniche di semina su sodo;

Azione 3 – Apporto di matrici organiche in sostituzione della concimazione minerale.

In aggiunta agli impegni di base è possibile assumere l'impegno facoltativo "coltivazione di erbai autunno-vernini da sovescio".

La durata degli impegni è quinquennale.

Per quanto riguarda la minima lavorazione (azione 10.1.3.1), l'impegno richiesto consiste nel non effettuare arature o vangature; profondità massima di lavorazione 15 cm; nel comunicare tempestivamente agli uffici istruttori l'avvio delle operazioni ed i terreni interessati; tenere il registro delle lavorazioni e dei terreni interessati e la documentazione sull'eventuale ricorso a contoterzisti; non utilizzare fanghi di depurazione e, infine, rispettare un periodo massimo di 40 giorni tra la fine del ciclo di una coltura e la semina della successiva (*cover crops*). Il contributo concesso è pari a 180 euro per ettaro all'anno.

Per l'azione 2 relativa alla semina su sodo l'agricoltore deve effettuare, sui terreni oggetto dell'impegno, la semina diretta su sodo, ovvero la lavorazione in bande (che consiste nel deporre il seme nel terreno senza alterne la struttura, se non nelle fasce corrispondenti alle file di semina lavorate per una larghezza massima di 20 cm ed una

profondità massima di 15 cm). Inoltre deve mantenere sulla superficie del terreno i residui colturali della coltura principale in modo da formare uno strato protettivo di materiale vegetale. Anche per questa azione deve comunicare anticipatamente l'avvio delle operazioni in campo, nonché i terreni oggetto delle stesse e tenere un apposito registro delle operazioni colturali e, infine, rispettare un periodo massimo di 40 giorni tra la fine del ciclo di una coltura e la semina della successiva. Il contributo concesso è pari a 280 euro per ettaro all'anno.

L'azione 3 "apporto di matrici organiche" prevede la sostituzione di parte dei concimi azotati di sintesi utilizzati per la fertilizzazione delle colture con materiali organici di origine extraaziendale palabili (letame, ammendanti compostati, etc). Deve essere distribuito un quantitativo minimo annuo, espresso in termini di sostanza secca, pari ad almeno 4 t/ha per le colture arboree da frutto e a 6 t/ha per le colture erbacee di pieno campo (no leguminose). L'agricoltore deve redigere un piano annuale di concimazione e quantificare gli apporti azotati della coltura nel rispetto dei massimali previsti per le ZVN (Zone vulnerabili ai Nitrati). Anche per questa azione deve comunicare anticipatamente l'avvio delle operazioni in campo nonché i terreni oggetto delle stesse e tenere un apposito registro delle fertilizzazioni e, infine, rispettare un periodo massimo di 40 giorni tra la fine del ciclo di una coltura e la semina della successiva. Il contributo concesso è pari a 180 euro/ha/anno per i fruttiferi e a 180 (letame) -300 (compost) euro/ha/anno per le colture erbacee.

Questa azione non è vincolata ad appezzamenti fissi (fermo restando l'impegno della superficie complessiva) ed è abbinabile alle azioni 1 e 2.

L'impegno aggiuntivo "colture autunno-vernine da sovescio è compensato per un importo di 230 euro/ha/anno.

I risultati attesi

Gli agricoltori piemontesi hanno risposto positivamente al Bando regionale relativo alla Misura 10.1 (determinazione n. 248 del 21/4/2016) che dispone di una dotazione finanziaria complessiva di 116,6 milioni di euro ripartiti tra le varie operazioni. Nello specifico, per quanto riguarda l'agricoltura conservativa il risultato ha visto numerose domande inserite in graduatoria ma in posizione "non finanziabile" (Determinazione n. 864 del 10/10/2016), testimonianza appunto dell'impegno e dell'interesse per l'agricoltura sostenibile.

Operazione /	Numero domande	Importo richiesto M€	Numero domande finanziate	Importo assegnato M€
10.1.3.1 – minima lavorazione	145	2,393	103	1,960
10.1.3.2 – semina su sodo				
10.1.3.3 – apporto matrici organiche	469	3,631	70	1,120

Circa **l'Agricoltura Simbiotica** va precisato che le attuali Norme di Produzione Integrata contengono la radice della parola "**microb_**" esclusivamente in funzione **anti-"microb**". Si richiamano alla fertilità microbica del suolo in modo astratto, senza oggettivazione. Allo stesso tempo anche il termine "Sostenibilità" ricorre molto spesso in agricoltura ma, senza un parametro reale, rischia di non essere che una accezione, non discriminabile o misurabile.

ALLEGATO 1: ALCUNE DEFINIZIONI

Sostenibilità (*Sustainability*): termine molto di moda soprattutto in agricoltura, che, senza un parametro, rischia di essere come un pensiero che non finisce in una parola o una formula (un cattivo pensiero) al massimo è una meditazione.

Lussureggiamento (*Greening*): termine inglese che indica "verdeggiamento", si contrappone a *browning* che significa imbrunimento. Lo conosciamo bene nei marciumi dei frutti. Qui invece è inteso come territorio iscurito - visto dal cielo – un preludio alla desertificazione. Le immagini dei satelliti danno una misura della vigoria della vegetazione dell'intero pianeta. Esse dimostrano che da parecchi anni il globo terrestre sta diventando più verde in molte aree (pensate soltanto a quanto sono cresciuti i boschi delle nostre vallate in meno di un secolo) e più bruno in poche altre. Come in un iceberg, la parte aerea delle piante è correlata alle radici. Dunque possiamo essere certi che oltre al *greening* che i satelliti osservano sulla superficie, sottoterra sia in corso un *under-greening* - o meglio un *under-browning* - di portata planetaria che i satelliti non possono rilevare ma che gli agricoltori potrebbero farsi riconoscere come stoccaggio temporaneo del C, se questo avviene realmente nei loro terreni. E qui sta il problema: nei suoli intensivamente coltivati che cosa succede al C? Nella politica agricola il greening è il genitore della "condizionalità"

Sistema climatico (*Climate System*): l'insieme dell'atmosfera, idrosfera biosfera, geosfera e delle loro interazioni.

Cambiamento Climatico (*Climate Chang*e - CC). Nella terminologia corrente comprende non solo la temperatura nei suoi vari comparti (Terre, Oceani, Atmosfera), ma anche le precipitazioni meteoriche, il livello delle acque, il permafrost che si scongela, i forzanti radiativi descritti oltre, dei quali il più forzante di tutti è la combustione globale delle riserve fossili di C. Dunque, un cambiamento di clima attribuito direttamente o indirettamente all'attività umana che altera la composizione dell'atmosfera globale e che si aggiunge alla variabilità naturale del clima osservata in periodi di tempo comparabili.

Effetti avversi del cambiamento climatico (*Adverse effects of Climate Change*): cambiamenti nell'ambiente fisico e nei viventi, compresi i microrganismi (c.d. Biota Microbico, BM), derivanti dai cambiamenti climatici, che hanno rilevanti effetti deleteri per la composizione, la capacità di recupero o la produttività degli ecosistemi naturali o governati dall'uomo, o sul funzionamento dei sistemi socio-economici, o per la salute e il benessere umano.

Emissioni (*Emissions*): rilascio di gas a effetto serra e / o dei loro precursori nell'atmosfera.

Gas-Serra - GS (*Green House Gases- GHG*): costituenti gassosi dell'atmosfera, sia naturali che antropici, che riscaldano la terra. I principali tre sono: l'anidride carbonica ora biossido (o diossido) di C (CO_2); il metano (CH_4) gas inodore peggiore di 25 volte rispetto alla CO_2; il protossido di N (N_2O) noto anche come gas esilarante per l'effetto euforizzante sull'uomo, mille volte meno presente della CO_2 ma 310 volte più potente nel trattenere il calore; l'N_2O è generato da un processo di ossidazione microbica dei composti azotati (nitrificazione / denitrificazione) che avviene nel primo orizzonte dei suoli nudi, specialmente in risaia. I GS si misurano in t (tonnellate), Mt (Mega t, 1 milione di t), Gt (Mrd t) e si rapportano al valore equivalente della CO_2 (c.d. CO_2eq). Come appare dalla Tab. A1 è l'agricoltura intensiva della Pianura Lombarda la maggiore fonte di inquinamento da GS, dovuta per il 57% alla NH_3, l'81% al N2O e ben il 98% della NH3. I trasporti su strada incidono oltre il 50% per gli ossidi di N (NOx) e per ¼ circa per il CO_2, le PM10 e il particolato solido totale. Notare bene che la casella CO_2 per agricoltura è vuota segno che le emissioni di gasolio agricolo sono contabilizzate a pareggio con l'assorbimento di CO_2 operato dalle colture agrarie.

Tabella A1. Incidenza percentuale dell'agricoltura sulle emissioni di GAS-Serra in Lombardia, anno 2014.

	SO_2	NOx	COV	CH_4	CO	CO_2	N_2O	NH_3	PM2.5	**PM10**	PTS	CO_2eq	Ozono	Totale acidificanti
Agricoltura	0	1	26	**57**	1	0-0	**81**	**98**	3	**6**	9	**12**	15	66
Trasporto su strada	1	53	7	0	33	32	5	1	22	**25**	26	25	26	16
Trattamento rifiuti	6	3	1	20	1	2	3	1	0	0	0	4	2	1

Reservoir (Serbatoio): una o più componenti del sistema climatico in cui è immagazzinato un GS o un suo precursore.

Sink (Pozzo, Lavandino): qualsiasi processo, attività o meccanismo che elimina (removal) un GS, un aerosol o un precursore di un GS.

Source (Fonte): qualsiasi processo o attività che libera un gas serra, un aerosol o un precursore di un GS.

Clima e Gas serra. Circa 1/3 della radiazione solare è riflessa nello spazio. Grazie all'enorme termostato fornito dagli oceani (emblematici i numeri della Fig. 1) il globo terrestre è caldo (in media siamo a +14°C di temperatura, ovviamente con forti

differenze geografiche e mensili) ma deve disperdere disperde il suo calore in eccesso, altrimenti andrebbe fuori equilibrio termico. Il calore in eccesso è spedito nel freddo siderale in forma di radiazione infrarossa, una lunghezza d'onda maggiore di quella ricevuta dal sole. La necessaria operazione di raffreddamento è tuttavia ostacolata dalla presenza dei gas ad effetto serra (GS) che si trovano nell'atmosfera.

La terra è sferica, ma non è irradiata uniformemente dal sole: la pendenza dei raggi solari e il filtro atmosferico sono differenti secondo la distanza dai poli, per cui l'energia ricevuta è massima all'equatore e ai tropici (bilancio positivo) minima ai poli (bilancio negativo). L'aria calda e umida sale dai tropici, ricade nelle zone monsoniche generando i ben noti fenomeni meteorici stagionali, quindi, evitando i deserti, arriva fino ai poli riscaldandoli e ricoprendoli di ghiaccio. L'acqua fredda, più pesante, fa invece il cammino inverso, ossia si affonda ai poli e muove verso l'equatore molto lentamente (4 m/anno). Si calcola che circa 1/3 di tutta l'energia che la terra riceve dal sole sia impiegata nei cicli dell'acqua.

Forzante Radiativo (*Radiative Forcing - RF*). I GS alterano il bilancio energetico della Terra e sono gli agenti del cambiamento climatico. Il RF si esprime in W/m2 ed è riferito ad un punto zero, identificato nel 1750 prima dello sviluppo delle attività umane più devastanti sulla natura. Un valore positivo indica che la Terra ha incrementato la sua energia e porta ad emergere un riscaldamento. Diversamente un valore negativo indicherebbe un decremento e un raffreddamento. Rispetto al 1750 (punto zero) nel 1980 il valore globale era +1,25 W/m2, ma nel 2011 ha raggiunto quota +2,29, con una accelerazione. Come interpretare questi valori? Il sole proietta sulla terra come se fosse piatta e perpendicolare (alla vecchia maniera) 1366 W/m² (costante solare di Langley, 1885). Poiché la terra è sferoidale la superficie è quadruplicata, dunque sono statisticamente 341 W/m2 sulle 24 ore. Possibile così tanta energia? Su cosa possiamo realmente contare? I maestri dell'irradiazione, vale a dire gli installatori di panelli solari utilizzano le tabelle di Irradianza sul piano orizzontale fornite da varie fonti. Allora troviamo che le 101 provincie italiane registrano effettivamente una media mensile di 293 ± 24 W/m² relativa ovviamente alle 24 ore. Dunque, cosa significa un +2.29 di RF ossia un + 0.782 rispetto al 1980? A questo punto i maestri di RF introducono la relazione fra la variazione di Forzante (ΔF)e la variazione di Temperatura (ΔT) : $\Delta T / \Delta F = \lambda$, in cui T è la temperatura assoluta e λ è un parametro quasi fisso, tipicamente vale circa 0.5 K/(W/m2). Allora, ci accorgiamo che, nonostante la piccolezza percentuale, si tratta di

una quantità importante, infatti +2,29 * 0,5 = +1,145°K che sono esattamente + 1,145°C. Ma dal 1980 al 2011 c'è stato un incremento di circa mezzo grado, cioè +17 millesimi di grado all'anno (+1°C ogni 59 anni). Questo è un piccolo aumento. Ma tutti si accorgono che si è messo a fare caldo nei momenti sbagliati: è in atto anche uno slittamento delle stagioni. L'IPCC (*International Panel for Climatic Change*) che ha calcolato I valori RF ha anche suddiviso le responsabilità fra le fonti di GS. Al momento attuale il primo posto spetta al CO_2 con il 70% di importanza e il CO_2 conta 1,7 volte più del CH_4 e 7,3 volte più del N_2O.

Riscaldamento Globale. Fra il 1970 e il 2015 la temperatura media del globo è salita di +0.6 gradi cioè +13 millesimi di grado per anno (1 °C ogni 75 anni). Ciò corrisponde bene al +17 millesimi della FR sopra riportato.

Negli USA si contestano principalmente due fatti: il riscaldamento globale e la causa umana di tale evento innalzando, quasi a dogma, la variabilità naturale dei fenomeni meteoclimatici terrestri e solari. Due Premi Nobel e altri scienziati si sono dissociati dalla Società di Fisica USA che ha dichiarato irreversibili i cambiamenti climatici. Il fisico Norvegese Ivar Giaever ha indicato tre lacune nelle misurazioni: a) il fatto che 3436 delle 3846 complessive stazioni meteorologiche sono situate nell'emisfero settentrionale e solo 8 sono situate in Antartide dove tutte le fonti riscontrano una diminuzione delle temperature con conseguente incremento dei ghiacci (sicuramente nell'emisfero Boreale non è così, i ghiacciai e forse il Polo Nord saranno a secco di ghiaccio!); b) negli ultimi 19 anni le temperature sono rimaste pressoché stabili; c) che nel computo delle temperature ora siano inclusi gli oceani mentre prima non lo erano. Conclude: con una escursione di 80° cosa incidono 0.8°? Il clima è variabile per definizione; l'umanità spende troppi soldi per il clima e troppo poco per ridurre la povertà.

Cover crops: La principale funzione delle *cover crops*, in italiano "colture di copertura" è, come suggerisce il nome, quella di coprire il terreno allo scopo di proteggerlo dai fenomeni erosivi. La funzione antierosiva non rappresenta l'esclusivo beneficio apportato. Esse svolgono diversi altri compiti agronomico-ambientali, rivestendo un ruolo fondamentale nella sostenibilità del sistema agrario. Fra questi, non si può non annoverare la cattura dei nutrienti, in particolare quelli più mobili, come i nitrati (forme più solubili dell'azoto nel suolo), che vengono immobilizzati nella biomassa vegetale e sottratti alla lisciviazione in falda. Le colture che svolgono tale ruolo sono definite *catch crop*. Le *cover crop*, caratterizzate da rapida crescita e aggressività nei

confronti di altre colture, rappresentano una valida soluzione per il controllo delle malerbe, con le quali entrano in competizione per la luce, l'acqua e i nutrienti. In caso di regime sodivo (ovvero di non lavorazione dei suoli e semina "su sodo" ovvero senza fare precedenti lavorazioni di preparazione del letto di semina), caratterizzato da assenza di periodici rovesciamenti degli strati, le colture di copertura, soprattutto se dotate di apparato radicale fittonante (apparato radicale molto esteso in profondità nel suolo, formato da una unità centrale, il fittone, molto grossa), svolgono un'importante azione di decompattamento. Ad essa si affianca un deciso miglioramento della struttura del suolo e un aumento del contenuto di sostanza organica del terreno (una delle componenti della fertilità del suolo: Esprime il modo di collegarsi tra le particelle del terreno [sabbia, limo, argilla e sostanze organiche] in inerti [conglomerati] di diverse forme e dimensioni. La struttura e una caratteristica importante del terreno perché influisce sulla sua porosità, l'accessibilità ai nutrienti per le piante, l'attività dei microorganismi, il rapporto tra macro e micropori e lo sviluppo e la crescita delle radici).

Bio fertilizzanti: fertilizzanti utilizzabili in Agricoltura Biologica ai sensi del Reg. 837/2007 e 889/2008. Categoria del Registro dei Fertilizzanti "Inoculo di funghi micorrizici".

Bio effettori: formulati in grado di stimolare la crescita delle colture, incrementare la resistenza delle stesse a stress di varia origine e solubilizzare i nutrienti del suolo aumentandone la fertilità intrinseca (es *microrganismi promotori della crescita della pianta ed estratti naturali* quali enzimi, metaboliti secondari, ecc..)

Biochar. Ispirati dalla famose "*Terra Pret*a" terra nera amazzonica, generata dagli scarti domestici su scala millenaria, agronomi e scienziati hanno cercato il segreto della SOS "nera" e l'hanno ritrovata nel BIOCHAR (Fig. 23), un sottoprodotto della pirolisi dei rifiuti organici usciti dai termovalorizzatori. I risultati preliminari del modello di stima di potenziale di cattura del C da Biochar dell'IBI (International Biochar Initiative) hanno ventilato che il carbone agricolo prodotto dai residui agricoli e dalla silvicoltura è potenzialmente in grado di sequestrare una Gigatonnellata di CO_2 e fissarla nel suoli ogni anno da qui fino al 2040. Un ragionamento alla grande, ma attenzione, è come sotterrare una mattonella di Carbone e lasciarla lì, non è che il suolo si mette a sequestrare altro CO_2 oltre la mattonella. A causa della sua natura alcalina, il Biochar può aumentare la qualità del suolo aumentando la saturazione di base. Inoltre, specialmente In terreni sabbiosi, può aumentare la capacità di trattenere acqua. Infine, il Biochar ha un

livello elevato di capacità di scambio cationico alleviando la lisciviazione. Tutti questi effetti possono realmente incrementare la germinazione, la crescita delle piante e il rendimento delle colture. Tuttavia, occorre **valutare in termini di LCA** cosa succede nella fase di produzione del Biochar. Se esso piove dal cielo, come sottoprodotto gratuito di un impianto di Pirolisi in un Paese ad agricoltura avanzata, allora se ne può parlare, ed effettivamente già esistono produttori che si devono collegare ad una catena di certificazione per vendere la mitigazione climatica a qualcuno che ne va in cerca. Piuttosto che "tombarlo" in una discarica speciale che occupa spazio e lavoro e costa denaro è assai lodevole l'azione di migliorare il clima ammendando con un materiale pseudo-inerte i parchi urbani e magari i campi, purchè la CO_2 consumata per la preparazione i trasporti e lo spandimento lo giustifichi in qualche modo. Invece se il Biochar bisogna costruirlo nei Paesi sprovvisti di termovalorizzatori, a partire da discariche indifferenziate, usando sistemi semplici – non certo tradizionali perché è un materiale nuovo - occorre bilanciare i benefici con i costi eco-ambientali. Un esempio di LCA in Zambia[1] chiarisce il problema. A fronte di indubbi benefici agronomici sulla coltura del mais, l'analisi completa LCA ha mostrato che le emissioni nocive (particolato, composti organici volatili, metano, monossidi di C) generate dalla preparazione del Biochar a partire dai tutoli, possono annullare nell'immediato periodo i futuri benefici climatici del trattamento del suolo con il Biochar. Questi risultati evidenziano la necessità di una visione olistica sull'uso dei biocarburi nei sistemi agricoli, sollecitando una ampia valutazione dai punti di vista ambientale, climatico, sanitario e sociale.

Figura A1. *Biochar*

[1]*Sparrevik M, Field JK, Martinsen V, Breedveld GD, Cornelissen G.*, 2013. Life Cycle Assessment to evaluate the environmental impact of biochar implementation in conservation agriculture in Zambia. Environmental Sci. Tech., 47:1206-15.

$E = m c^2$ nota formula di Einstein ove "E" indica l'energia, "m" la massa e "c" la velocità della luce nel vuoto.

$A = m CO_2$ ignota formula ove A può indicare "Apocalisse" "m" la quantità di minaccia della CO_2 all'*homo sapiens*.

ALLEGATO 2. ISTITUTI E ORGANISMI IMPEGNATI NEL CARBONIO

IPCC (*International Panel for Climatic Change*): è un agile organismo tecnico-scientifico ospite della World Meteorological Organization (WMO) con sede a Ginevra di cui sono membri 195 Paesi. Il Presidente è Hoesung Lee, Professore Coreano che guida l'IPCC Bureau con 34 membri effettivi così suddivisi: 3 vice-presidenti per 3 Gruppi di lavoro, con un Italiano (Carlo Carraro, Professore Emerito di Economia Ambientale). Infine la Task Force Bureau (TFB) composta di 14 specialisti sorveglia il programma degli inventari nazionali dei gas a effetto serra IPCC (IPCC-NGGIP), sviluppando e perfezionando una metodologia internazionalmente concordata per il computo e la comunicazione delle emissioni di GS nazionali e gli assorbimenti di CO_2 e altri GS. Centinaia di scienziati collaborano (sovente a titolo gratuito) con l'IPCC producendo meeting e documenti. Si tratta di documenti piuttosto ponderosi, che via via aggiungono conoscenze ma soprattutto modelli di simulazione che serviranno ai politici per le loro decisioni; ogni documento è preceduto da una sintesi a loro uso e dei non-specialisti.

UNFCC (*United Nations FrameWork Convention on Climate Cha*nge). E' un grande organismo in seno alle Nazioni Unite di tipo rappresentativo-politico, sorto a Rio nel 1992. Ora raggruppa 197 Party [plur. Parties, indica: membro, partecipante, contraente, partito]. Dal 1996 ha sede a Bonn, vi lavorano 500 persone di 100 nazioni diverse, il Segretario Esecutivo è una Messicana, Patricia Espinosa Cantellano, ex Ministra degli esteri del Messico. Ogni anno organizza sessioni negoziali con tutti i membri (Conferenza delle Parti, COP, con 10.000 partecipanti); gli aderenti al Protocollo di Kyoto (operativo dal 2005) costituiscono il CMP composto dai 37 paesi industrializzati che accettarono requisiti giuridicamente vincolanti di riduzione delle emissioni. Gli USA hanno sottoscritto ma non confermato la ratifica del Trattato. Il principale problema dell'UNFCCC è trovare le risorse per : a) espandere le politiche di mitigazione e b) fare il proprio bilancio (specialmente dopo che Trump ha tolto l'appoggio economico USA).

ISMEA Istituto di servizi per il mercato Agricolo alimentare, è un ente pubblico economico vigilato dal MiPAAF. Ha sede in Viale Liegi, 26 - 00198 – Roma, 137 dipendenti, Enrico Corali è il Presidente. Fa parte del SISTAN (sistema statistico nazionale) e del SIAN (sistema informativo agricolo nazionale). Con decreto 22 gennaio 2013 del Ministro dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare (MATTM), di concerto con il Ministro delle Politiche Agricole Alimentari e Forestali (GU n.25 del

30/1/2013), è stato assegnato all'ISMEA il ruolo di coordinamento tecnico del Registro Nazionale dei serbatoi di C per la parte agricola. L'attività, realizzate in stretto raccordo con organismi nazionali e internazionali, è finalizzata ad individuare una strategia e un protocollo attuativo per la certificazione dei flussi dei gas a effetto serra derivanti dalle attività del settore agricolo (coltivazioni e allevamenti).

ISPRA Istituto superiore per la protezione e la ricerca ambientale. E' un ente di ricerca italiano nato nel 2008 dall'accorpamento di tre Enti controllati dal Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare (MATTM), con un organico previsto in 1483 unità; presidente è l'ing. Bernardo De Bernardinis . Ha sede a Roma, Via Vitaliano Brancati 48. Attenzione a non confondere: nel Comune di Ispra (Varese) esistono altre due ISPRA, centri ricerca ex-nucleari, uno è dell'EURATOM l'altro è dell'ENEA. Compito principale dell'ISPRA-Roma è di gestire il portale SINAnet in cui convergono i risultati del monitoraggio ambientale (non le dichiarazioni di emissioni in atmosfera di emettitori nazionali che vanno al GSE per ottenere eventuali certificati verdi). Il SINA con l'azione di monitoraggio e controllo ambientale (secondo lo schema MDIAR) raccoglie dati e informazioni necessari a descrivere e comprendere i fenomeni ambientali. L'ISPRA produce ogni anno un National Inventory Report 2016 - Italian Greenhouse Gas Inventory 1990-2014 è la comunicazione annuale italiana dell'inventario delle emissioni dei gas serra in accordo a quanto previsto nell'ambito della Convenzione Quadro sui Cambiamenti Climatici delle Nazioni Unite (UNFCCC), del protocollo di Kyoto e del Meccanismo di Monitoraggio dei Gas Serra dell'Unione Europea. Ogni Paese che partecipa alla Convenzione, infatti, oltre a fornire annualmente l'inventario nazionale delle emissioni dei GS secondo i formati richiesti, deve documentare in un report, il National Inventory Report, le metodologie di stima, le fonti dei dati di base e dei fattori di emissione utilizzati, e illustrare il sistema di Quality Assurance/Quality Control cui è soggetto l'inventario. Per NRC Environment and Agriculture il responsabile attuale è Lorenzo Ciccarese. Nel report 2016, su 539 pagine il termine Agriculture ricorre ben 395 volte. Nella Tab. B1 è riportata la serie delle emissioni parziali dal 1990 (36 Mt) al 2014 (30 Mt). L'agricoltura è passata da 7.1 Mt nel 1995 a 7.7 Mt del 2014, ma per effetto della crisi la variazione dal 2005 (punto 0) è stata di -23 e persino -28 . Notare la categoria di LULUCF che era -4.9 nel 1995 sale -6.8 nel 2014, ove addirittura le due voci 3 e 4 quasi si azzerano. Dunque i boschi non ci riparano ma quasi ci compensano dalle emissioni.

Tabella B1. Emissioni di gas serra totali e assorbimenti di CO_2eq (Mt) in Italia.

	1990	**1995**		**2000**	**2005**	**2010**	**2011**	**2012**	**2013**	**2014**		**2014/ 1995**
Energia	422	435	85.6	454	476	421	408	384	359	340	86.7	-22
Industria e prodotti	40	38	7.5	38	46	35	35	32	31	30	7.7	-20
Agricoltura	36	36	**7.1**	36	33 0	31 -13	31 -14	32 -18	31 -25	30 -28	**7.7**	-16
LULUCF	-6	-25	-4.9	-19	-32	-34	-25	-18	-31	-27	-6.8	8
Rifiuti	23	24	4.7	26	24	21	21	21	19	18	4.6	-24
Totale	516	509	100	535	547	474	469	451	408	392	100	

.

ENEA Agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo economico sostenibile. Lungotevere Thaon di Revel, 76 00196 Roma. Al 2016 contava 2514 dipendenti. Dispone di 14 tra centri e laboratori di ricerca e 19 uffici regionali mentre a Bruxelles è attivo un Liason Office per i rapporti diretti con le istituzioni comunitarie e i programmi comunitari. Il patrimonio di conoscenze e risultati della ricerca ENEA è reso disponibile a imprese, in particolare piccole e medie, alla PA e ai cittadini, attraverso servizi, processi e prodotti, attività di formazione, informazione, trasferimento di know how.

GSE Gestore Servizi Energetici S.p.A. E una società per azioni italiana, fondata nel 1999, controllata dal Ministero dell'Economia e delle Finanze. Ha sede in Roma Viale Maresciallo Pilsudski, 92 – Francesco Sperandini, Presidente e Amministratore Delegato. Nel 2013 aveva 577 dipendenti e un fatturato di 34200 MEUR. GSE svolge numerosi incarichi di natura pubblicistica nel settore energetico. GME Gestore Mercato Elettrico. Società controllata da GSE. Presidente e Amministratore delegato Pietro Maria Putti. Nel 2013 Ricavi: € 21972 (M €), Utile netto: 9,6 MEUR. Dipendenti: 101. Sviluppa e controlla il mercato energetico in Italia, che comprende 4 segmenti: Elettrico: 251 operatori attivi sulla Piattaforma di scambio PCE (OTC Registration Platform); Ambientale: 1831 operatori attivi sul Registro TEE (Titoli Efficienza Energetica); Gas: 160 operatori attivi sulle piattaforme M-GAS, P-GAS, PB-GAS; Carburanti (? N.segreto di soggetti obbligati ad operare sulla piattaforma PDC-oil (Primary Data Center-Oil)

UNI- Ente Nazionale Italiano di Unificazione. Commissione Ambiente. Nata nel 1989 e costituita da una commissione plenaria, che definisce le principali linee di indirizzo, e da gruppi di lavoro specifici per argomento, che hanno il compito di svolgere

operativamente l'attività tecnico-normativa. I membri della Commissione Ambiente sono i principali soggetti italiani coinvolti in tematiche ambientali: le istituzioni (Ministeri, APAT, Istituto Superiore di Sanità, INAIL, ISPESL, ENEA); inoltre partecipano i principali settori industriali rappresentati da Confindustria, dalle associazioni territoriali e dalle associazioni di categoria; il mondo dell'agricoltura rappresentato da Confagricoltura e Coldiretti; i consumatori rappresentati dall'ACU; il mondo dell'accreditamento e della certificazione; infine le altre commissioni UNI interessate.

JRC- *Joint Research Center* - Institute for Environment and Sustainability. 3000 dipendenti (70% ricercatori) distribuiti fra Bruxelles e altri 6 centri, tra cui Ispra. Il compito del JRC è di trasferire i risultati della ricerca a favore di un ambiente sano e sicuro, garantendo l'approvvigionamento energetico (nucleare compreso), la mobilità sostenibile e la salute e la sicurezza dei consumatori.

ICOS - *Integrated Carbon Observation System* (Sistema Integrato di Osservazione sul C), una nuova agile infrastruttura di ricerca pan-europea, con bilancio di circa 3 MEUR (0.97 dall'Italia) che ha lo scopo di fornire osservazioni di lungo periodo sui gas serra in tutta Europa. I membri fondatori di ICOS ERIC sono otto Paesi, ovvero Belgio, Francia, Germania, Italia, Olanda, Norvegia, Svezia e Finlandia. Quest'ultima, tra l'altro, è anche sede dell'ERIC *European Research Infrastructure Consortia*. La Svizzera, invece, per ora fa parte dell'iniziativa in qualità di osservatore. Si tratta del dodicesimo Consorzio Europeo per Infrastrutture di Ricerca (ERIC) per attività di ricerca a scala continentale. Per l'Italia, nella decisone EU 26 Ottobre 2015 figurano: CONSIGLIO NATIONALE DELLE RISERCHE — DIPARTIMENTO DI SCIENZE DEL SISTEMA TERRA E TECNOLOGIE AMBIENTALI (CNR-DTA); CENTRO EURO-MEDITERRANEO SUI CAMBIAMENTI CLIMATICI (CMCC, Fondazione no-profit con sede a Bologna); ICOS-IT, *JOINT RESEARCH UNI* (quella di Ispra, ma non confondere con l'ISPRA). Il coordinamento italiano spetta al MIUR e oltre ai fondatori, comprende ora altri Enti: il Consiglio per la Ricerca in Agricoltura e l'analisi dell'Economia agraria (CREA), Istituto Nazionale Oceanografia e di Geofisica Sperimentale, l'Agenzia Nazionale per le nuove tecnologie l'energia e lo sviluppo economico sostenibile (ENEA), l'Agenzia Regionale per la Protezione Ambientale (ARPA) della Valle d'Aosta, la Provincia Autonoma di Bolzano, la Fondazione Edmund MACH (FEM), le Università della Tuscia di Viterbo, di Sassari, di Padova, di Genova, Bolzano e l'Università degli Studi di Udine. Il contributo italiano ad ICOS è rappresentato da numerose stazioni di osservazione e di rilevamento dati nelle tre componenti: atmosfera (con i siti di misura di Monte Cimone, Lampedusa, Potenza e

Plateau Rosa), ecosistemi (con i siti di Castelporziano, Borgo Cioffi, Renon, Negrisia, Monte Bondone, Capodimonte, Arca di Noè, Bosco Fontana e Torgnon) e oceani (siti di Miramare, Paloma, E2M3A nel mare Ardiatico e W1M3A nel mar Tirreno). Inoltre, il nostro Paese ricopre un ruolo di primaria importanza e visibilità coordinando ed ospitando (a Viterbo presso l'Università della Tuscia ed il CMCC) *l'Ecosystem Thematic Centre*, il centro verso cui confluiranno tutti i dati dei siti ecosistemici di ICOS RI e che sarà responsabile del processamento, controllo qualità, sviluppi metodologici, formazione e coordinamento della rete. Esiste il Portale del C, (WWW.icos-cp.eu/) ospitato presso le Università di Lund (Svezia) e Wageningen (Olanda) ma collocato a Lund, ad uso degli specialisti.

FAO- *Food and Agricoltural Organisation of the United Nations*. Dal 1951 a Roma, nel Palazzo alle Terme di Caracalla. Motto: ***Fiat panis***. Membri: 194 paesi più l'Unione Europea. Pres. José Graziano da Silva, Agronomo-Economista brasiliano responsabile per l'implementazione del programma Fame Zero con il Presidente Lula. Impiega 1474 persone a Roma e 1471 fuori. Il programma 2017 ha 6 obiettivi principali e i relativi *budgets* fissi (M$). 1-Contribuire all'eradicazione della fame, dell'insicurezza alimentare e della malnutrizione (82). 2-Aumentare e migliorare la fornitura di beni e servizi dall'agricoltura, la silvicoltura e la pesca in modo sostenibile (200). 3- Ridurre la povertà rurale (64). 4- Agevolare gli efficienti sistemi agricoli e alimentari (105). 5- Aumentare la resilienza dei mezzi di sussistenza alle minacce e alle crisi (50). 6-Qualità, conoscenze e servizi tecnici (59). In totale il bilancio con le sole quote supera 1 Mrd $ ma con le entrate extra arriva a oltre 2.5 Mrd (amministra circa 0,870 M$ per addetto). Il cambiamento climatico rientra in tutti gli obiettivi di lavoro. Collabora particolarmente con l'IPCC e con l'UNCC. La rapida crescita dei consumi di prodotti animali ha comportato un caro prezzo per l'ambiente, secondo il fatidico rapporto FAO del 2006 intitolato *Livestock's Long Shadow* (La lunga ombra della zootecnia).

CITEPA - *Centre Interprofessionnel Technique d'Etudes de la Pollution Atmosphérique* - 42, rue de Paradis 75010 PARIS. Dal 1961 ha registrato una crescita costante (ma limitata), passando da 10 dipendenti nel 1990 a 26 dipendenti nel 2015.

US EPA - *United States Environment Protection Agengy*. Ha sede a Washington D.C. Nel 2005 impiegava, 17964 persone. Ecc. Ogni Stato ha i suoi Centri di riferimento.

LUCAS (*Land Use/Cover Area frame Statistical survey*). A livello europeo è attiva dal 2000 un'indagine EUROSTAT con lo scopo di supportare, integrare e migliorare l'informazione statistica sulla copertura del suolo. La rilevazione LUCAS per il 2012 ha coinvolto tutti i 27 Stati Membri, per un numero totale di punti campione pari a 270 389, mentre per l'Italia sono stati campionati 20 013 punti. I punti oggetto di indagine, individuati con una precisa metodologia statistica, ricadono su tutte le tipologie di copertura del suolo quali seminativi, prati, aree boscate, aree edificate, infrastrutture di trasporto. Il rilevatore si reca sui punti selezionati, li fotografa e identifica il tipo di copertura/uso del suolo, il tipo di irrigazione utilizzata ed alcuni elementi del paesaggio. I dati di copertura del suolo vengono quindi classificati secondo una nomenclatura armonizzata che prevede 95 classi fino al terzo livello gerarchico per i dati di copertura, e 49 classi fino al secondo livello gerarchico per i dati di uso del suolo. I dati campionari per i singoli paesi sono disponibili per il download al sito:
http://epp.eurostat.ec.europa.eu/portal/page/portal/lucas/