

I GEORGOFILI



I FOCUS DEI GEORGOFILI

Firenze, 2024

Società  Editrice Fiorentina

I GEORGOFILI



I FOCUS DEI GEORGOFILI
Supplemento agli Atti dei Georgofili 2023

Con il contributo di



FONDAZIONE
CR FIRENZE



DIREZIONE GENERALE
EDUCAZIONE,
RICERCA E
ISTITUTI CULTURALI

Copyright © 2024
Accademia dei Georgofili
Firenze
<http://www.georgofili.it>

Proprietà letteraria riservata

Supplemento a «I Georgofili. Atti della Accademia dei Georgofili»
Anno 2023 - Serie VIII - Vol. 20 (199° dall'inizio)

Direttore responsabile: Paolo Nanni

ISSN 0367-4134

SOCIETÀ EDITRICE FIORENTINA
via Aretina, 298 - 50136 Firenze
tel. 055 5532924
info@sefeditrice.it - www.sefeditrice.it

ISBN 978-88-6032-746-8

Indice

<i>Presentazione</i> di Massimo Vincenzini	»	7
<i>Aggiornamento su “Vitigni resistenti”</i>	»	9
<i>Bilancio del Carbonio in agricoltura: casi studio</i>	»	15
<i>Ricreare la Rete Nazionale della Vivaistica Forestale</i>	»	53
<i>Quesiti e brevi risposte sui prodotti alimentari “alternativi alla carne”</i>	»	57
<i>La sicurezza alimentare</i>	»	71
<i>Attualità e prospettive per il Biogas e il Biometano</i>	»	91

Presentazione

Per individuare e affrontare tematiche ritenute prioritarie in determinati settori, oltre che fornire un adeguato supporto a specifiche iniziative concorrenti al progresso dell'agricoltura, l'Accademia dei Georgofili tradizionalmente si avvale di Comitati consultivi, Centri Studi e Gruppi di lavoro, i cui membri sono accademici o comunque personalità scientifiche e tecniche di consolidata e specifica competenza. Gli elaborati predisposti da tali strutture vengono prontamente segnalati ai portatori di interesse e divulgati attraverso il portale istituzionale ad accesso libero (<https://www.georgofili.it>), nel pieno rispetto dello storico motto dell'Accademia, «*Prosperitati Publicae Augendae*».

Nel 2021, il Consiglio Accademico ha ritenuto opportuno raccogliere i documenti prodotti nell'anno dalle diverse strutture di supporto scientifico e dare vita a una nuova iniziativa editoriale in formato digitale, denominata *I focus dei Georgofili*, da pubblicare come supplemento agli «Atti» e rendere liberamente accessibile attraverso il portale istituzionale.

L'iniziativa prosegue con il presente volume de *I focus*, supplemento agli «Atti dell'Accademia dei Georgofili» 2023. A tutti gli Autori degli elaborati qui presenti un sincero ringraziamento.

MASSIMO VINCENZINI

Aggiornamento su
Vitigni resistenti

Gruppo di lavoro

Amedeo Alpi, Riccardo Cotarella, Cesare Intrieri, Luigi Moio,
Michele Pasca-Raymondo, Riccardo Ricci Curbastro, Attilio Scienza,
Paolo Storchi, Riccardo Velasco, Rosanna Zari

I cambiamenti climatici da un lato e gli obiettivi della Strategia “Farm to Fork” della Unione Europea dall’altro, impongono una seria riflessione sull’evoluzione della viticoltura, in particolare sulle opportunità offerte dai risultati della ricerca genetica degli ultimi due decenni. Accanto alle applicazioni delle tecnologie digitali e alla robotica, ai DSS (Decision Support System) e alla sensoristica, sia la gestione integrata che biologica del vigneto può avvalersi di varietà resistenti ottenute con il miglioramento genetico classico o tramite le applicazioni biotecnologiche “verdi”, le così dette Tecniche di Evoluzione Assistita (TEA), che hanno già consentito alcuni interessanti risultati, ma che promettono di produrne altri nei prossimi anni.

Le varietà resistenti dello scorso secolo, i così detti ibridi produttori diretti, sono stati ampiamente superati grazie al lavoro svolto da istituzioni del centro Europa che hanno portato alla registrazione di utili varietà resistenti, prima in Germania, Austria, Svizzera e in altri Stati centro europei, poi, finalmente, anche in Italia dal 2009. Nel frattempo, una generazione ulteriore di vitigni resistenti è stata prodotta in Italia, dall’Università di Udine/IGA/Vivai Cooperativi Rauscedo prima, e dalla Fondazione E. Mach poi, che ha portato alla registrazione di 20 varietà nel 2014 e ulteriori 16 varietà tra il 2020 e oggi, nel Registro Nazionale delle Varietà di Vite. Le varietà selezionate nel Centro Europa avevano già dato un contributo interessante alla viticoltura Altoatesina, la prima a interessarsi a questi vitigni, favorendo l’ingresso dell’associazione PiWi international (Pilzenwiderstandfaeigh=resistenti ai funghi), associazione senza fini di lucro che si occupa della diffusione di questi vitigni in Europa, anche nelle altre regioni italiane (oggi organizzate in associazioni regionali, recentemente costituenti la PiWi Italia a Vinitaly 2023). Delle 36 varietà presenti nello RNVV (Registro Nazionale delle Varietà di Vite) ogni regione ha

autorizzato delle sotto-selezioni di quei vitigni ritenuti più interessanti nelle rispettive realtà, pur non avendo genitore “nobile” alcun vitigno autoctono italiano. Su questo aspetto l’Accademia intravede un primo vulnus sulla possibile affermazione di questi vitigni, e auspica una introduzione a breve, nella lista dei resistenti autorizzati, di un sempre maggior numero di vitigni con genitori italiani nel proprio pedigree, almeno quello più recente. A tal proposito si apprezzano gli impegni dei Vivai Cooperativi Rauscedo, in autonomia o con le due istituzioni già citate (IGA e UniUD) e il CREA Viticoltura ed Enologia, che hanno programmi avanzati per la realizzazione di linee resistenti da Sangiovese, Glera, Primitivo, Aglianico, Falanghina, ed altri genotipi italiani. Un secondo aspetto, che ha generato un vivace dibattito, è legato al nome con cui vengono iscritti questi vitigni, che, sull’onda delle scelte derivate dalle registrazioni tedesche dei vari Cabernet Cortis o Cabernet Carbon, registrati dal National Viticulture Institute Freiburg ancora nel secolo scorso, portano un nome di un vitigno internazionale aggettivato. Le diverse posizioni dei membri dell’Accademia oscillano dal rigetto del nome aggettivato a una più liberale accettazione che vede la presenza di una parte del nome del genitore nobile nel nome del nuovo vitigno resistente. Indubbiamente la presenza di “Cabernet” come “Merlot” aggettivati, ma anche “Sangiovese” o “Primitivo” per citare due dei vitigni italiani tra i più famosi al mondo, può generare fraintendimenti già oggetto di discussione nel panorama europeo, soprattutto francese, che si sente usurpato del nome famoso. Non di meno, i nomi degli autoctoni italiani più famosi genererebbero fastidio al nostro mondo vitivinicolo, non senza ragion veduta. Tuttavia, una posizione proibizionista potrebbe generare una reazione opposta, ma soprattutto, una volta registrati con una parte del nome di origine italiana in qualsiasi altro Paese europeo non si potrebbe impedirne la registrazione anche nel nostro RNVV, a meno di proibirne la coltivazione sul suolo italico. Più che una legge “proibizionista” si suggerisce un approccio culturale che suggerisca il nome di fantasia magari legato a un suffisso (Sauvigner gris che richiama il Sauvignon da cui deriva) o una parte del nome in un nome composto ma non come primo nome (Primitivo o Sangiovese nella seconda parte del nome). Così come la Francia non ha potuto bloccare il nome inventato da Freiburg, l’Italia non può evitare che ad esempio in Portogallo utilizzino un nome derivato dall’autoctono italiano, per cui la battaglia sarebbe persa in partenza. Meglio puntare su un lavoro di tipo culturale, magari con l’aiuto dell’OIV (Organizzazione Internazionale della Vite e del Vino) che sottolinei le peculiarità di tali vitigni resistenti più che la “presunta identità” col vitigno nobile di origine. Una ulteriore osservazione sui nomi merita attenzione, qualora i vitigni resistenti ottenuti fossero cloni, come quelli ottenuto con le TEA.

Le nuove Tecniche di Evoluzione Assistita stanno ottenendo le attenzioni che meritano. Questo perché, ai promettenti scenari che le prime sperimentazioni dipingevano, sono seguiti concreti sviluppi vicini alle sperimentazioni in campo. Sia il progetto Biotech del MASAF che altre iniziative private hanno prodotto le prime linee di piante cis-geniche o editate con resistenze contro malattie fungine, come peronospora e oidio. Considerate le metodologie utilizzate, lontane dalle tecnologie che hanno prodotto gli OGM del secolo scorso, è altamente probabile che la commissione agricoltura del Parlamento Europeo, e il Parlamento Italiano di conseguenza, prenderanno posizioni diverse dal pronunciamento del luglio 2018 della Corte di Giustizia Europea, che ha classificato le TEA al pari degli OGM tradizionali. Queste tecniche, che sono basate su scoperte del 2012, ben posteriori alla Direttiva 18/2001/EU, verranno molto probabilmente regolamentate da un nuovo provvedimento legislativo europeo che chiarirà le modalità del loro utilizzo e la produzione di nuove linee che, come dimostreranno le sperimentazioni, non saranno altro che cloni delle linee di partenza, con uno o pochi geni aggiuntivi/mutati. La produzione di uva, e conseguentemente di vino, identica a quella ottenuta da varietà esistenti porranno la questione facilmente risolvibile della loro nomenclatura e della loro classificazione quali cloni delle varietà esistenti. A questo punto il nome della varietà potrà essere mantenuto. Si intravede la necessità che le varietà ottenute da programmi di incrocio con la stessa varietà “nobile” siano debitamente distinte per evitare confusione tra i due metodi di miglioramento genetico che producono prodotti radicalmente diversi: le TEA danno origine a cloni della varietà mutata mentre con il miglioramento genetico classico si ottengono piante figlie della varietà pregiata con un donatore di polline geneticamente diverso, quindi vere e proprie nuove varietà.

In conclusione, il GdL “Vitigni resistenti” dell’Accademia dei Georgofili auspica, al fine del raggiungimento degli obiettivi, (i) che la 238/2016 venga modificata per *favorire l'utilizzo delle varietà resistenti anche all'interno della Denominazione di Origine Protetta (DOP) e della Indicazione Geografica Protetta (IGP)*, includendole in percentuali variabili all’interno dei disciplinari caso per caso, dopo adeguata sperimentazione, nella massima libertà per ogni DOP e IGP al fine di ottimizzarne i risultati; (ii) che le nuove *varietà resistenti non siano in alcun modo limitate nell'uso*, anzi ne siano stimolate, in funzione del raggiungimento dell’obiettivo 2030 della Farm to Fork di riduzione dei pesticidi del 50% attuale; (iii) che la *nomenclatura dei nuovi prodotti sia oculata e guidata da ragioni culturali* e di miglioramento qualitativo delle produzioni, anche utilizzando rimandi alle varietà nobili del loro pedigree, ma non per mere ragioni commerciali tendenzialmente fuorvianti; (iv) che le *piante ottenute con le tecniche TEA siano sperimentate in campo* in tempi relativamente

brevi, con tutte le precauzioni del caso, ma che, a seguito della dimostrazione di veridicità delle promesse scientifiche, si faciliti la loro integrazione nel sistema produttivo con *un'adeguata e urgente nuova legislazione europea*.

Il Gruppo di Lavoro “vitigni resistenti” dell’Accademia dei Georgofili, sottolinea che senza un intervento legislativo rapido a livello europeo, si crea una situazione di fatto che avvantaggia i Paesi non UE, sino alla modifica della Direttiva in vigore. Eventuali disposizioni legislative o regolamentari nazionali, allineate alle nuove conoscenze scientifiche, non hanno il potere di modificare il quadro legislativo esistente e quindi il GdL esorta tutte le parti interessate a chiedere con vigore a Bruxelles la modifica di tale quadro.

Documento precedente:

<<https://www.georgofili.it/contenuti/dettaglio/8156>>

Bilancio del carbonio in agricoltura: casi studio

Gruppo di lavoro

Amedeo Alpi, Francesco Ferrini, Alessio Fini, Teodoro Georgiadis,
Edgardo Giordani, Marco Marchetti, Marianna Nardino, Simone Orlandini,
Pietro Piccarolo, Bruno Ronchi, Federica Rossi, Leonardo Verdi

AMEDEO ALPI

Premessa. Gli alberi e l'accumulo di anidride carbonica nell'atmosfera

Alla domanda che tutti ci poniamo sul perché la concentrazione di CO₂ nell'atmosfera sia aumentata costantemente dal secondo dopoguerra ad oggi, si risponde, in modo abbastanza ovvio, che le emissioni di questo gas hanno superato gli assorbimenti (i ben noti *sink*). Nel decennio 2010-2021 le emissioni sono aumentate annualmente sino a raggiungere circa 10,6 gigatonnellate di C (GtC) dovute, per circa l'89%, all'uso di combustibili fossili (carbone, petrolio, gas naturale) e per il rimanente 10% al cambio di uso del suolo, cioè alla sommatoria dell'effetto della deforestazione, che libera CO₂ in misura di 3,8 GtC, e dell'abbandono dei terreni agricoli che, al contrario, causa consumo di CO₂ tramite la vegetazione spontanea in misura di 2,7 GtC. Questi dati sono riportati in una pubblicazione i cui Autori formano un gruppo di decine di esperti di tutto il mondo (Friedlingstein et al., 2022). Negli ultimi 60 anni l'utilizzo dei fossili è molto aumentato, mentre la deforestazione è proceduta a ritmo costante, incidendo, rispetto al 1960, progressivamente sempre meno sul totale delle emissioni.

La prima conseguenza che l'aumento di anidride carbonica determina è il cosiddetto "effetto serra" cioè l'incremento della temperatura media globale del pianeta. I "gas serra" sono molteplici, ma si usa riportare la loro quantità nell'atmosfera come CO₂ equivalenti (CO₂ eq); cioè in base alla loro specifica "forzante radiativa", che è l'effetto derivante dal riscaldamento che quel gas è in grado di provocare. Circa il 50% di CO₂ eq emessa nel decennio, che abbiamo sopra ricordato, è rimasto nell'atmosfera (circa 5,1 GtC per anno, corrispondenti all'incremento di 2 ppm per anno). Ricordiamo che l'attuale

livello atmosferico in CO_2 è 417,2 ppm, esattamente il 51% superiore alla concentrazione di anidride carbonica atmosferica del periodo pre-industriale. Se solo il 50% del gas emesso è rimasto nell'atmosfera, vuol dire che l'altro 50% è stato assorbito da "sink" rappresentati sia dalle masse idriche dei mari e degli oceani che dalle terre emerse. Gli organismi fotosintetici fissano la CO_2 in biomassa, solo una parte della quale viene consumata dagli organismi eterotrofi, risultando quindi con un bilancio netto a favore della assimilazione. Comunque la differenza tra le emissioni e gli assorbimenti globali è stata misurata ed è mediamente riportabile in circa 1 Gt di CO_2 eq all'anno a favore delle emissioni. Questo dato rappresenta il cosiddetto *carbon imbalance* cioè lo squilibrio che determina l'accumulo di anidride carbonica nell'atmosfera.

Complessivamente si pensa che dal 1750 ad oggi l'emissione totale, proveniente dalle attività antropiche, sia stata di 687 GtC e tale livello sarebbe responsabile dell'innalzamento globale della temperatura terrestre di 1,1°C. Pertanto se vogliamo contenere l'aumento termico a solo 1,5°C dovremo contenere le prossime emissioni a solo 116 GtC, come avverrà nei prossimi 11 anni procedendo al ritmo di produzione, come sopra detto, di circa 10 GtC all'anno.

Cosa accadrebbe se continuassimo a usare le risorse fossili che ancora sono disponibili sul pianeta? Si stima che i giacimenti di fossili disponibili assommano a 2800 Gt CO_2 eq che ci consentirebbero di procedere ai ritmi attuali ancora per 70 anni (ad onor del vero si stanno scoprendo anche altre risorse aggiuntive), ma l'aumento progressivo di CO_2 atmosferica causerebbe un aumento di temperatura globale di 5-6 gradi. Siccome le richieste energetiche della popolazione globale del pianeta sono soddisfatte all'80% da combustibili fossili, dovremmo trovare un'alternativa entro i prossimi dieci anni, ma ciò sembra assai improbabile. Dobbiamo quindi rimuovere l'anidride carbonica dall'atmosfera, ma come? Le piante si alimentano di CO_2 , ma solo gli alberi consentono di accumulare stabilmente il carbonio nel legno; quindi possiamo solo sperare nell'incremento della superficie forestale?

Può essere quindi utile esaminare quali sono, nel pianeta, gli organismi che accumulano carbonio.

Secondo valutazioni accurate (Bar-On et al., 2018) gli organismi viventi rappresentano una biomassa di 550 GtC soprattutto nella parte terrestre; mentre la biomassa marina costituisce 6GtC, quella terrestre, solamente riferita alle piante, consiste in 450 GtC, cioè l'80% della massa planetaria, soprattutto rappresentata dagli alberi che in termini di biomassa si dividono in 320 GtC di soprassuolo e in 130 GtC di apparati radicali. Pertanto la biomassa arborea domina anche se a maggioranza risulta metabolicamente poco attiva (così come è il legno). Al confronto la parte fotosinteticamente attiva è de-

cisamente piccola, valutata a 1,5 GtC. Nella biomassa marina, solo il 20% è costituito da “produttori” cioè da microrganismi fotosintetici (diatomee e altre alghe unicellulari, cianobatteri) e da macroalghe e piante acquatiche (Falkowski e Raven, 2007). I due sistemi, marino e terrestre, generano una simile produzione primaria, anche con biomassa fotosinteticamente attiva simile (1-2 GtC); la differenza principale risiede nel fatto che solo gli alberi terrestri formano strutture di sostegno – impregnate di lignine – resistenti alla degradazione e quindi costituiscono una enorme riserva di carbonio. Comunque la massa totale del carbonio organico nel terreno (soil organic carbon, SOC) è molto superiore a quella della biomassa epigea, essendo stimata a 1700 GtC, alla quale si devono aggiungere 1400 GtC intrappolato nel permafrost e quindi a turnover molto più lento.

Quanta superficie è a nostra disposizione per effettuare interventi di sequestro di anidride carbonica?

La superficie totale del nostro pianeta è 55 miliardi di ha; di questa le terre emerse ne costituiscono 15 miliardi di ha di cui circa il 70% è abitabile (si escludono deserti, ghiacciai, ecc.) Mentre le foreste ricoprono circa 5,5 miliardi di ha, la parte utilizzata dall’attività agricola è di 1,5 miliardi di ha e 1,8 miliardi di ha sono occupati da praterie, savane, terreni degradati in vario modo, con una copertura, da parte di alberi, inferiore al 10%. Proprio su questo ambito della superficie di terre emerse si è centrata l’attenzione per piantare un consistente numero di nuovi alberi affinché la CO₂ atmosferica sia assimilata e conservata, per periodi relativamente lunghi, sotto forma di legno. La previsione è di riuscire a piantare nuovi alberi in quei territori, presenti in varie parti del globo, che assommerebbero a 0,9 miliardi di ha, appartenenti principalmente a USA, Canada, Brasile, Russia, Cina e Australia. In tale superficie potrebbero essere piantati circa 1000-1500 miliardi di alberi, numero assai considerevole, basti pensare che gli alberi attualmente esistenti sul pianeta sarebbero circa 3000 miliardi. Su questi numeri c’è un po’ di scetticismo (Bastin et al., 2019) in quanto ogni albero raggiungerebbe una chioma (volta arborea o canopia) di circa 6 m² considerata la superficie, sopra ricordata, disponibile per la realizzazione dei nuovi impianti arborei. Ciò è tanto vero che alcuni autori propongono di procedere a modi diversi di piantagione usando ad esempio la tecnica della *applied nucleation* (AN) ovvero della piantagione a nuclei di alberi e non su tutta la superficie disponibile (Kulikowski et al., 2023).

Supponendo che gli alberi di nuova piantagione abbiano già raggiunto lo sviluppo massimo della loro chioma sia nelle zone boreali che in quelle tropicali, si potrebbe ottenere una assimilazione di 205 GtC, quantità che riporterebbe il livello di CO₂ atmosferica a circa 310 ppm, esattamente quella

esistente nel 1950. Ma per realizzare questo eccezionale risultato le piante impiegherebbero decine di anni durante i quali, al ritmo di emissioni di 10 GtC all'anno, torneremmo ben presto alla precaria situazione che avremmo voluto risolvere.

Per non parlare, poi, di come e quanto condizioni ambientali non sempre adeguate a consentire alle piante di svolgere al meglio le proprie funzioni fotosintetiche (vedi ad esempio piante in ambienti urbani molto cementificati, piante con scarsa disponibilità ad acqua) renderebbero difficile un rifornimento di piante in numeri tanto elevati, oltre alla richiesta di molto tempo e energia per il completo lavoro.

La letteratura specializzata è ricca di varie considerazioni e di dati anche diversi da quelli sopra riportati (Lewis et al., 2019). Infatti molti esperti concordano sulla necessità di piantare gli 0,9 miliardi di ha anche se il vantaggio, in termini di sequestro di C, sarà inferiore a quanto atteso.

Comunque rimane la ovvia riflessione che non ha molto senso piantare alberi se non si riducono le emissioni; il problema enorme del rapporto gas serra/clima non verrà risolto se non si intraprenderanno varie iniziative, che includono la piantagione di nuove foreste, ma che non si limitino ad esse (Veldman et al., 2019).

Il quadro di riferimento globale che è stato sommariamente sopra delineato, non può che fare appello alla responsabilità di chi partecipa alle varie attività umane che, in misura diversa, contribuiscono alla continua crescita della concentrazione dei gas serra nell'atmosfera. Certamente anche l'agricoltura è una di queste attività e ne va continuamente valutato l'impatto nel senso indicato, aggiornandolo soprattutto seguendo la continua evoluzione tecnologica che il settore persegue ai fini di aumentarne la sua sostenibilità.

Essendo molto difficile misurare l'impatto globale dell'intero settore, abbiamo voluto fare riferimento alla situazione italiana e, rinunciando alla insostenibile ambizione di fornire dati sicuri per l'intero sistema agroindustriale italiano, abbiamo preferito procedere per "casi di studio" che vengono puntualmente riportati di seguito.

FEDERICA ROSSI, FRANCESCO FERRINI
Metodologie di misura e metodi di stima

L'analisi dell'impatto delle attività agricole sul clima richiede l'attento esame di una lunga serie di fattori di varia natura, sia biologica ed ecofisiologica che umana. In termini generali si afferma che una piantagione massiva di alberi sia potenzialmente in grado di ridurre la concentrazione di CO₂ atmosferica,

catturando e stoccando una rilevante quantità di carbonio e contribuendo quindi in modo attivo alla mitigazione del cambiamento climatico. Tale considerazione di massima richiede però concreti studi di appoggio, che tengano in conto le diverse tipologie di vegetazione e il loro ruolo, e il complesso sistema di interazioni tra ambiente, albero e uomo.

Dal punto di vista teorico, il calcolo del bilancio tra CO_2 rilasciata nell'ambiente dalla attività metabolica dell'albero e dagli input messi in campo per l'impianto e coltivazione (es. lavorazioni pre-impianto, movimentazione di materiali, gestione colturale) rispetto alla quantità di carbonio assimilato e conservato negli organi permanenti (quindi fusto, branche, rami e radici) si potrebbe prospettare come una semplice operazione matematica. In realtà, diversi fattori di ordine temporale, geografico e pedoclimatico, nonché le svariate tipologie delle attività antropiche e il diversificato uso di mezzi materiali ed energetici, hanno un effetto sostanziale sul bilancio netto tra l'equivalente di CO_2 stoccata e CO_2 rilasciata nell'atmosfera.

In aggiunta ai fattori generali che modificano l'entità degli scambi gassosi tra alberi e atmosfera, tra cui l'età, lo stato di salute degli alberi stessi e l'andamento climatico, esistono sostanziali differenze tra le colture annuali di pieno campo, le foreste e le colture arboree da frutto, collegate prevalentemente, in questo secondo caso, alla tipologia degli impianti, alle specie e alle cv, e alle pratiche di gestione più o meno "impattanti" dal punto di vista delle emissioni.

In generale, i boschi giovani, sani e siti in ambienti favorevoli accumulano CO_2 rapidamente per diversi decenni prima che l'incremento annuale di CO_2 decresca, mentre, ad esempio, le "old growth forests", cioè le foreste stramature, possono rilasciare una quantità di CO_2 derivante dalla decomposizione della necromassa pari alla quantità fissata con la nuova crescita, seppure su questo argomento esistano alcune discordanze in letteratura (Luyssaert et al., 2008; Gundersen et al., 2021). È anche noto che la quantità di materia organica decomposta e la velocità di decomposizione dipendono dai microrganismi eterotrofi ipogei ed epigei, la cui presenza e tipologia è condizionata dalle condizioni pedoclimatiche e antropiche, e che il solo calcolo del carbonio stoccato nella parte epigea sottostima il reale assorbimento del C in quanto questa metodologia trascura alcune forme di allocazione della CO_2 assimilata (es. accumulo di riserve di amido al colletto e nelle radici principali, biomassa di radici fini ed essudati radicali, produzione di metaboliti secondari). Inoltre, anche la CO_2 allocata per la produzione di biomassa erbacea (es. foglie) o effimera (es. fiori) viene stoccata a livello del suolo qualora tale biomassa sia usata, previo compostaggio, per interventi di ammendamento o pacciamatura organica.

La maggior parte degli approcci utilizzati per la stima del contributo degli alberi alla riduzione di CO₂ atmosferica è finalizzata a quantificare lo stoccaggio con metodi dendrometrici, tramite approcci non distruttivi o, ove possibile, distruttivi, utilizzando anche equazioni allometriche che calcolano, per individui della stessa specie a dimora in ambienti caratterizzati da simili condizioni pedologiche e climatiche, il volume o la biomassa dell'albero in funzione del diametro del fusto a un'altezza prestabilita (McHale et al., 2009).

Al di là delle singole metodologie adottate, è comunque importante considerare che gli errori delle stime modellate del carbonio sequestrato e stoccato possono essere sostanziali qualora i modelli siano usati su specie o in ambienti diversi da quelli in cui sono stati sviluppati, e che esse prevedono la quantificazione del carbonio direttamente dalla massa arborea senza prendere in considerazione i fenomeni fisiologici e metabolici che comportano l'emissione di CO₂ (che si attestano intorno al 50% della CO₂ assimilata) da parte dell'albero stesso, nonché quelli dovuti all'attività metabolica del microbiota terricolo e di altre eventuali fonti di emissione.

Per quanto attiene la misura diretta della attività fisiologica, esistono approcci basati sulla dinamica e quantificazione di scambi gassosi specifici in un sistema chiuso (ad esempio camere di accumulo), o, comunque, confinato, rappresentativo di un ecosistema, o di un sistema agrario deliberatamente artefatto a fini sperimentali. Tale tipologia di studio, pur fornendo risultati precisi sul sistema che viene misurato, "disaccoppia" però il sistema stesso e quindi la pianta dalla atmosfera circostante, che è invece in grado di condizionarne l'attività di assorbimento del C in modo anche determinante sia diretto (ad es. tramite la temperatura e la radiazione) che indiretto (solo per fare un esempio, la morfologia e quindi la forma di allevamento condizionano la velocità di frizione del vento e quindi la forzante atmosferica per l'evapotraspirazione).

Per questo motivo, sono maggiormente rappresentative rispetto alla realtà le misure effettuate tramite metodi micrometeorologici, rese possibili dallo sviluppo di sensori veloci (anemometri sonici, analizzatori di gas ad alta precisione molto reattivi e relativamente economici) che offrono l'opportunità di misurare in continuo i flussi generati nell'ambito di un determinato ecosistema agricolo o urbano. L'applicazione della metodologia Eddy Covariance (EC), che si è sviluppata negli ultimi decenni, ha quindi permesso di valutare, in modo non distruttivo e basandosi esclusivamente su osservazioni sopra la chioma, i flussi di carbonio in diversi sistemi arborei, anche da frutto.

In questo modo, è anche possibile rilevare la quota di C emessa dalla componente biologica (pianta più suolo) tramite respirazione, a cui poi accoppiare misure direttamente effettuate sul terreno con camerette per specificare il contributo specifico del suolo.

Occorre però rimarcare la conformazione e lo scopo produttivo delle colture agrarie, in particolare di quelle arboree, che prevede un uso spesso anche massiccio di “input” chimici, energetici ad alte emissioni di CO₂.

La loro coltivazione, infatti, implica utilizzo di materie plastiche, ad es. reti, pacciamature, strutture di protezione, di sostanze chimiche (fertilizzanti, agrofarmaci), interventi con macchine e trattori alimentati a gasolio, e tutto questo implica una spiccata tendenza dei frutteti ad avere un’alta componente emissiva di C in atmosfera. Un completo bilancio del C in queste tipologie di sistemi dovrebbe quindi tendenzialmente tenere in debito conto sia la componente biologica, cioè la capacità fisiologica del sistema frutteto (piante più suolo) di fissare o emettere CO₂ tramite fotosintesi e respirazione, sia la componente legata alla gestione, contabilizzando i CO₂ equivalenti (CO₂eq) legati alle emissioni, integrando di conseguenza questi dati tramite analisi LCA (Life Cycle Assessment).

Tra le diverse metodologie di analisi di impatto ambientale, il LCA è la procedura seguita per la certificazione di prodotto e di processo in relazione a diverse tipologie di impatto, incluse le emissioni di CO₂, ed è standardizzata a livello internazionale secondo le norme ISO della serie 14040 (Finkbeiner et al., 2006). Essa quantifica i carichi energetici e ambientali e gli impatti potenziali associati ad attività, processi e prodotti lungo fasi più o meno estese del ciclo di vita di un prodotto *sensu lato*. Lo studio viene effettuato sulle unità funzionali (ad esempio, 1 tonnellata di legname secco o 1 kg di frutta) definendo i confini del processo analizzato, che può includere o escludere alcune fasi della filiera. Ad esempio, nel caso della frutticoltura può includere tutte le fasi “dal seme in vivaio al riuso dello scarto del frutto consumato” oppure “dall’albero in azienda al frutto in partenza nel cancello aziendale”. Devono quindi essere annoverate e quantificate nella analisi tutte le entrate e uscite in termini di risorse materiali ed energetiche inerenti alle fasi del processo che interessano, ivi inclusi il contributo di gas, non direttamente riconducibili al ciclo del carbonio, ma che hanno un impatto sul riscaldamento globale espresso in CO₂ eq, quali ad esempio metano e l’ossido di azoto, molto importante in quanto legato alla fertilizzazione.

Date le sue diverse problematiche e complessità, mentre l’applicazione dell’LCA su processi industriali veri e propri offre risultati precisi, la sua applicazione in arboricoltura è meno precisa, e spesso il confronto dei risultati ottenuti e pubblicati è complesso e approssimativo. Questo non è necessariamente dovuto a sperimentazioni mal condotte o ad approcci non consistenti dal punto di vista metodologico, ma piuttosto legato alla tipologia del prodotto, ai confini dello studio nonché all’impiego di software e banche dati differenti, che possono adottare diversi approcci di calcolo del potenziale di riscaldamento globale (Global Warming Potential) per la stessa sostanza anche in riferimento ad archi temporali uniformi.

In questo documento, alcuni casi prendono in esame l'integrazione di alcune valutazioni delle emissioni di CO₂ anche legate alle fasi colturali per rappresentare l'ampia casistica in termini di approcci, di confini dell'analisi e di tipologia di prodotto.

PIETRO PICCAROLO

Metodologia di misura e stima delle emissioni della trattrice

Tra gli input messi in campo per effettuare le diverse operazioni colturali (arature, semine, concimazioni, trattamenti, ecc.) vanno considerate anche le emissioni prodotte con l'impiego delle macchine agricole e, in particolare, della trattrice.

Le emissioni dei motori delle macchine semoventi, tra cui la trattrice, sono da tempo regolamentate in Europa attraverso l'indicazione di limiti massimi, divenuti via via sempre più stringenti. L'evoluzione è stata attuata definendo Stage successivi. Sono stati così definiti i seguenti step: Stage I, Stage II, Stage IIIA, Stage IIIB, Stage IV, Stage V. In pratica dal 2020 è in vigore lo Stage V. Negli USA si parla di TIER, che equivalgono agli Stage, per cui lo Stage V europeo equivale al TIER V americano.

Le emissioni vengono espresse in g/kWh e riguardano: CO, HC, NO_x, PM. I valori limiti, variano in funzione della classe di potenza del motore. Sono previste 6 classi di potenza che vanno da meno 18 kW a più 130 kW.

Nei successivi step le riduzioni dei valori sono state veramente significative. Passando dallo Stage I, della fine del secolo scorso, allo Stage V attualmente in vigore si registrano, ad esempio per la classe di potenza da 56 a 75 kW, i seguenti valori:

- CO da 1,87 a 1,01;
- HC da 0,65 a 0,13;
- NO_x da 8,95 a 0,40;
- PM da 0,47 a 0,01.

Nel valutare le emissioni in atmosfera di un motore a combustione occorre quindi fare riferimento al limite fissato dallo Stage corrispondente all'anno di costruzione. Va poi tenuto presente che, a parità di Stage, le emissioni dipendono non solo dalla potenza del motore, ma anche dal consumo specifico (g/kWh) legato al carico e al regime del motore e, naturalmente, al tempo di impiego.

Il non corretto utilizzo della trattrice, ad esempio tenendo il motore al regime prossimo a quello massimo, eleva sensibilmente il consumo specifico.

Non va poi dimenticato che sui consumi di combustibile influisce lo stato di efficienza del motore, legato all'età e alla manutenzione effettuata.

Purtroppo il parco macchine nazionale è molto obsoleto. Secondo i dati dell'Inail, la consistenza delle macchine agricole semoventi non cessate al 17 maggio 2019, era di 2.001.784, di cui solo 6.294 immatricolate nel 2019.

In questa categoria di macchine sono comprese le seguenti tipologie costruttive: telaio per rimorchi agricoli, trattrice agricola a 2RM, trattrice agricola a 4 RM, trattrice agricola cingolata, trattrice agricola snodata, mietitrebbiatrice e motoagricola.

Si tratta di un parco macchine ancora in esercizio e quindi, nel valutare le emissioni, occorrerà considerare i valori dello Stage in vigore in relazione all'anno di costruzione della macchina.

Valutazione delle emissioni della trattrice nell'operazione di aratura

Gli studi vengono effettuati ricorrendo alla metodologia basata su: *Life Cycle Inventory (LCI)*, che ha lo scopo di rilevare i dati che descrivono le condizioni operative dei singoli lavori; *Life Cycle Assessment (LCA)*, per la valutazione delle emissioni. Vengono calcolate le emissioni nell'aria, nel suolo e nell'acqua.

A titolo esemplificativo vengono riportati i valori di uno studio sulle emissioni nell'aria della trattrice nell'operazione di aratura, eseguita su tre tipologie di terreno aventi diversa struttura, con l'impiego di trattrici di diversa potenza in funzione della struttura del terreno (Lovarelli et al., 2016). L'esame dei dati sotto riportati evidenzia la forte influenza della struttura del terreno sull'ammontare delle emissioni:

- terreno sabbioso (g/ha) : CO 423,5; HC 16,5; NO_x 264,3; PM 2,0;
- terreno di medio impasto (g/ha) : CO 914,5; HC 35,6; NO_x 570,8; PM 4,4;
- terreno tenace (g/ha) : CO 1265,0; HC 70,3; NO_x 683,5; PM 8,7.

SIMONE ORLANDINI^{1,2}, LEONARDO VERDI¹

Analisi delle emissioni da cerealicoltura

¹ Dipartimento di Scienze e Tecnologie Agrarie, Alimentari, Ambientali e Forestali Università di Firenze

² Accademia dei Georgofili

Premessa

L'aumento demografico mondiale accompagnato da una crescente richiesta alimentare richiede azioni mirate e tempestive per incrementare l'efficienza

d'uso delle risorse, mantenere elevate le produzioni agricole e ridurre gli impatti ambientali. La nuova PAC definisce piani strategici atti alla mitigazione e all'adattamento ai cambiamenti climatici promovendo modelli di sviluppo sostenibile basati sulla gestione efficiente delle risorse naturali (acqua, suolo e aria). Parallelamente, l'EU-ETS (European Union Emission Trading Scheme) e l'EFS (Effort Sharing Regulation) hanno fissato degli obiettivi di riduzione delle emissioni di gas serra dai differenti settori produttivi, tra cui l'agricoltura, da raggiungere entro il 2030. In questo scenario, il Green Deal con la strategia Farm to Fork ha evidenziato specifici ambiti di intervento in materia di incremento dell'uso delle risorse e di riduzione dell'uso dei fertilizzanti e dei pesticidi. Queste azioni risultano essenzialmente volte ad assicurare la sicurezza alimentare e a salvaguardare la biodiversità in Europa, oltre a fornire un supporto alla mitigazione dei cambiamenti climatici (CE, 2020).

A livello nazionale, l'agricoltura è responsabile di circa il 7% delle emissioni di gas serra (CO_2 , CH_4 e N_2O), seconda solo al settore energetico (ISPRA, 2018). Se da un lato gli impatti del settore energetico rischiano di mascherare gli effetti delle azioni di riduzione delle emissioni dal settore agricolo, dall'altro l'agricoltura evidenzia un elevato potenziale di stoccaggio del carbonio atmosferico all'interno delle biomasse vegetali e del suolo. La principale voce di impatto dal settore agricolo è rappresentata dalle emissioni di metano (CH_4), 64% del totale, seguito da quelle di protossido di azoto (N_2O), 35% del totale, e dalla CO_2 per la restante parte (circa 1%). Il contributo del settore cerealicolo rappresenta circa un terzo delle emissioni totali del settore agricolo (ISPRA, 2018) principalmente legato all'utilizzo di fertilizzanti e alle lavorazioni del suolo (Oertel et al., 2016). Oltre alle emissioni di gas serra, il settore agricolo è il principale responsabile delle emissioni di ammoniaca (NH_3), producendo circa il 90% delle emissioni totali. L'uso di fertilizzanti e la gestione dei reflui zootecnici per il sostegno delle produzioni cerealicole originano circa il 65% delle emissioni agricole di NH_3 (ISPRA, 2018). Le strategie di mitigazione per ridurre le emissioni di gas serra e NH_3 che il settore cerealicolo può attuare sono essenzialmente riferite ad approcci innovativi di gestione della fertilizzazione atti a incrementare l'efficienza d'uso dei nutrienti. Le azioni che in questo senso presentano le maggiori potenzialità sono l'agricoltura di precisione, l'impiego di inibitori della nitrificazione/ureasi e la sostituzione dei concimi di sintesi con prodotti di origine organica. La cerealicoltura copre circa 12% della superficie terrestre (FAO, 2014) con rilevanti impatti sia in termini di emissioni dirette che indirette legate alle dinamiche del ciclo dell'azoto e del carbonio. In Italia, la cerealicoltura interessa quasi 4 milioni di ettari di cui più del 65% è occupato da frumento, duro e tenero, mais da granella e insilato, e riso (ISTAT). Le emissioni relative solo a frumento (sia duro che tenero) e

mais in Italia, nel 2020, sono state di circa 2000 Gg (Gigagrammi) CO₂ eq. A queste si aggiungono gli impatti della coltivazione del riso che è responsabile di circa 1580 Gg CO₂ eq (EUROSAT). Questi valori sono strettamente legati alle strategie di gestione agronomica (fertilizzazioni, lavorazioni e irrigazioni) e alle condizioni meteorologiche. In ambiente mediterraneo, le emissioni di CO₂ possono raddoppiare mentre quelle di N₂O possono raggiungere incrementi fino al 70% rispetto ad ambienti temperati (Sanz-Cobena et al., 2014). Questi incrementi sono normalmente correlati alla temperatura e alle crescenti dosi di azoto distribuito. Tuttavia, un'attenta gestione della concimazione azotata, delle lavorazioni, dell'irrigazione e dei residui colturali permette di abbattere significativamente le emissioni di gas serra (Oertel et al., 2016). La produzione di frumento e mais in Italia risulta essere in linea con le medie europee evidenziando un fattore di emissione di N₂O pari a 0,6% (90 kg N₂O ha⁻¹ e 120 kg N₂O ha⁻¹, rispettivamente) (Myrriotis et al., 2019).

La coltivazione del frumento provoca mediamente una produzione di 427-937 kg CO₂ eq ad ettaro durante tutta la stagione di crescita. Tuttavia, in base all'ambiente pedoclimatico, l'intensità e la profondità delle lavorazioni, l'utilizzo di fertilizzanti di sintesi o organici e l'utilizzo o meno dell'irrigazione, possono modificare notevolmente questi valori. In questo senso, la coltivazione del mais, che normalmente viene svolta con un maggiore ricorso a input esterni (irrigazione, fertilizzanti di sintesi, ecc.) può portare le emissioni di gas serra a circa 865-1947 kg CO₂ eq (Linguist et al., 2012).

COLTURA	SUPERFICI COLTIVATE (2021) ha	PRODUZIONI TOTALI (2021) quintali	EMISSIONI TOTALI (2021) Gg CO ₂ eq
Frumento tenero	544219	28624986	371,2
Frumento duro	1262844	39830524	861,3
Mais	578417	52237540	813,3
Riso	226800	14647000	1553,1

Fonte: ISPRA (2018)

L'entità delle emissioni dal settore cerealicolo è dovuta principalmente a N₂O e alla coltivazione di frumento e mais a seguito dell'utilizzo di fertilizzanti e al ricorso a tecniche di lavorazione del suolo intensive. Diversamente, le emissioni legate alla coltivazione del riso sono principalmente dovute al CH₄, e in minor parte a N₂O a seguito delle prolungate condizioni di anaerobiosi che si generano durante le fasi di sommersione del suolo (ISPRA, 2018).

Tuttavia, le dinamiche di emissioni dai suoli e, tra di essi, quelli coltivati a cereali, non fanno eccezione, dipendono strettamente da numerosi fattori che possono essere fonte di grande variabilità dei dati raccolti. In questo senso, non esistono inventari relativi alle emissioni di specifiche colture ma solo indicazioni sull'effetto dei vari fattori nel bilancio finale delle emissioni di gas serra.

Caso studio sulla carbon footprint della coltivazione biologica e convenzionale di frumento tenero

Uno strumento affidabile per la stima degli impatti ambientali dell'agricoltura è il Life Cycle Assessment (LCA). Attraverso l'utilizzo di questo strumento è possibile determinare numerose tipologie di impatto, tra cui quelle ambientali in termini di emissioni di CO₂ eq di differenti filiere agronomiche, strategie di gestione agricole e modelli produttivi.

Di seguito si presenta un estratto di un lavoro svolto per la valutazione della carbon footprint della coltivazione biologica e convenzionale di una varietà antica di frumento tenero (Verna), tipica dell'ambiente toscano. Lo studio è stato condotto su un periodo di 5 anni (2014/2015-2018/2019) su un campione di 10 aziende (5 biologiche e 5 convenzionali) omogeneamente distribuite sulle province di Firenze, Siena, Arezzo e Grosseto. Come unità funzionale di riferimento è stato scelto 1 kg di granella di frumento (Verdi et al., 2022).

Carbon footprint della coltivazione biologica del frumento tenero Verna

La principale voce di impatto in termini di carbon footprint della coltivazione biologica del Verna è rappresentata dalle operazioni colturali che costituiscono approssimativamente il 70% del totale degli impatti (circa 0.27 kg CO₂ eq / kg granella) e dalle fasi di ottenimento dei prodotti impiegati per la concia del seme. Il contributo della produzione e dell'utilizzo dei concimi è trascurabile, anche in considerazione del fatto che il sistema di produzione biologico non prevede l'impiego di prodotti di sintesi (fig. 1).

Carbon footprint della coltivazione convenzionale del frumento tenero Verna

Diversamente dal sistema biologico, quello convenzionale evidenzia impatti rilevanti per quanto riguarda la produzione dei concimi (0.23 kg CO₂ eq / kg granella), le operazioni colturali (0.17 kg CO₂ eq / kg granella) e l'utilizzo dei concimi in campo (0.15 kg CO₂ eq / kg granella). Queste voci complessivamente rappresentano circa il 75% del totale degli impatti (fig. 2).

In riferimento all'unità produttiva (1 kg di granella), il sistema di coltivazione convenzionale produce impatti superiori in termini di carbon footprint rispetto a quello biologico con un contributo complessivo di 0.52 kg CO₂ eq / kg granella rispetto agli 0.36 kg CO₂ eq / kg granella del sistema biologico.

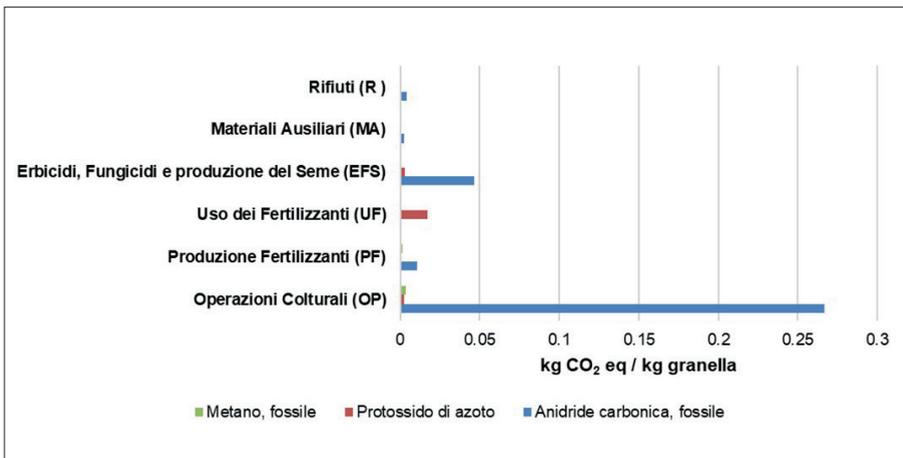


Fig. 1 Carbon footprint delle diverse voci di impatto della coltivazione biologica del frumento tenero Verna. I risultati sono espressi come kg CO₂ eq /kg di granella

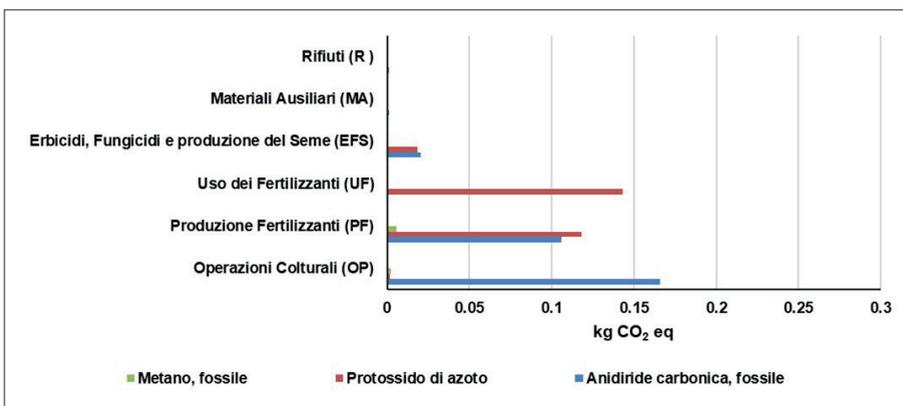


Fig. 2 Carbon footprint delle diverse voci di impatto della coltivazione convenzionale del frumento tenero Verna. I risultati sono espressi come kg CO₂ eq /kg di granella

È bene tenere presente che le produzioni ottenibili dai due sistemi produttivi sono molto diverse e i risultati dello studio mostrano una produzione inferiore di circa il 46% nel sistema biologico rispetto al convenzionale (fig. 3).

Il fattore d'impatto più rilevante in entrambi i sistemi produttivi è legato alle operazioni colturali e in particolare al consumo di carburante delle macchine agricole. L'aratura è il fattore di maggiore impatto, pari a circa il 29% e il 32% del consumo totale di carburante per biologico e convenzionale. Tut-

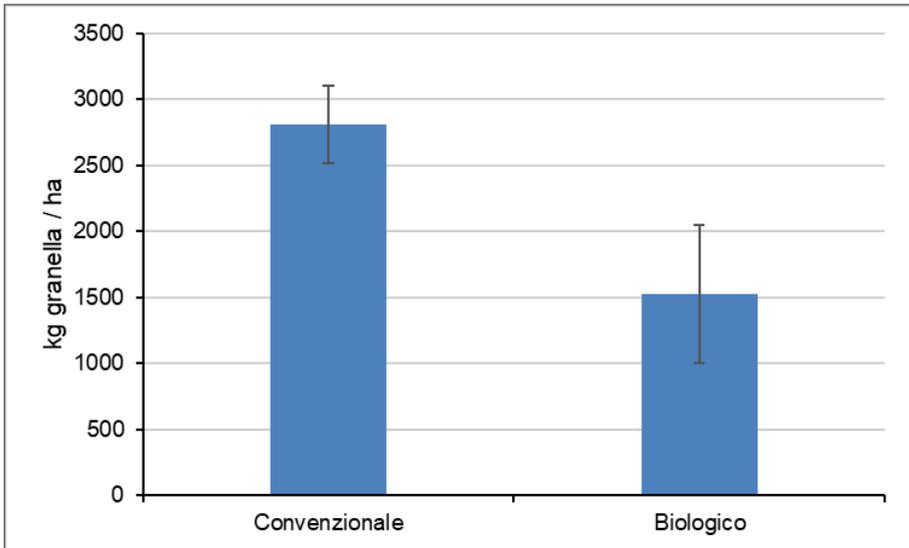


Fig. 3 *Produzione di granella ad ettaro dai sistemi di produzione convenzionale e biologico*

tavia, nonostante il consumo di carburante sia paragonabile tra i due sistemi, l'impatto maggiore generato dal sistema biologico è dovuto alle rese inferiori. Infatti, il contributo netto ammonta a circa 0,27 e 0,17 kg CO₂ eq / kg granella per il sistema biologico e convenzionale, rispettivamente. Considerando invece l'ettaro come unità funzionale, la carbon footprint derivante dal consumo di carburante è simile tra i due sistemi agricoli (415,62 e 476,67 kg CO₂ eq / ha, per biologico e convenzionale). Questo evidenzia che per garantire rese comparabili con l'agricoltura convenzionale, il sistema biologico richiede una maggiore superficie di terreno e può causare impatti rilevanti a seguito dell'uso dei mezzi agricoli.

Per quanto riguarda la produzione e l'utilizzo in campo dei concimi, gli impatti sono principalmente legati al consumo di energia in fase produttiva e alle emissioni di N₂O dal suolo. Si stima infatti, che dall'1 al 5% dell'azoto distribuito con le concimazioni venga emesso in atmosfera sotto forma di N₂O con un contributo significativo al riscaldamento globale. In questo senso, gli impatti legati alla concimazione rappresentano un problema serio per l'agricoltura convenzionale. Precedenti studi hanno riportato un potenziale di mitigazione del riscaldamento globale derivante dall'uso di fertilizzanti organici di circa l'80% rispetto ai sistemi che si basano sull'impiego prevalente di concimi chimici (Fallahpour et al., 2012). Oltre all'utilizzo di fertilizzanti organici, l'impiego di tecniche di agricoltura di precisione, di

concimi a lento rilascio e di inibitori della nitrificazione/ureasi possono contribuire ad abbattere gli impatti ambientali legati alla concimazione. Inoltre, l'adozione delle cover crops e delle colture intercalari consente di ridurre le emissioni portando gli indicatori su valori vicini alla neutralità in tutti i sistemi colturali.

Caso studio sulla carbon footprint di differenti strategie di gestione della concimazione sul mais

La concimazione rappresenta un fattore significativamente impattante in termini di emissioni di gas serra, capace di influenzare fortemente la carbon footprint dell'attività agricola. Gli impatti principali sono dovuti alla fase di produzione dei concimi di sintesi e alla fase di distribuzione. Per questo motivo si osserva un crescente interesse verso l'impiego dei concimi organici ottenuti da scarti agricoli in un'ottica di economia circolare. Dal confronto della carbon footprint di una concimazione con prodotti di sintesi (urea) e una con concimi organici ottenuti da residui agricoli (digestato), si evince una netta riduzione delle emissioni sia in fase di produzione sia in fase di utilizzo in campo (Verdi et al., 2019).

La carbon footprint della concimazione effettuata con digestato appare sensibilmente inferiore rispetto a quella della concimazione con urea. Tuttavia, questo è fondamentalmente dovuto alle emissioni che si generano in fase di produzione dei concimi di sintesi che si stimano essere attorno ai 6.5 kg CO₂ eq per kg di urea. Diversamente, si assume un impatto neutro per quanto riguarda il digestato, in quanto si tratta di un prodotto di scarto di un processo di produzione di energia rinnovabile. Le emissioni di N₂O che si generano direttamente dal suolo, a seguito della distribuzione dei differenti concimi, sono superiori nel caso del digestato e questo è principalmente dovuto all'effetto combinato delle forme di azoto presenti nel digestato (principalmente NH₄⁺), del suo contenuto di acqua (tra il 95 e il 98%) e delle elevate temperature che normalmente si verificano durante il ciclo produttivo del mais, coltura a ciclo primaverile-estivo.

Dal confronto delle diverse carbon footprint, che includono sia le emissioni dovute al processo produttivo dell'urea sia quelle generate direttamente dal suolo a seguito dell'uso dei concimi, l'impiego del digestato appare la strategia con performance ambientali migliori. Infatti, si stimano circa 2700 kg CO₂ eq ha⁻¹ legate all'impiego di urea e 647 kg CO₂ eq ha⁻¹ a seguito dell'utilizzo di digestato (fig. 4). A supporto dell'impiego del digestato, le produzioni a ettaro, in termini di insilato di mais, non evidenziano differenze sostanziali tra i due concimi (21.6 ± 0.8 e 21.8 ± 1.1 t ha⁻¹ insilato per urea e digestato, rispettivamente).

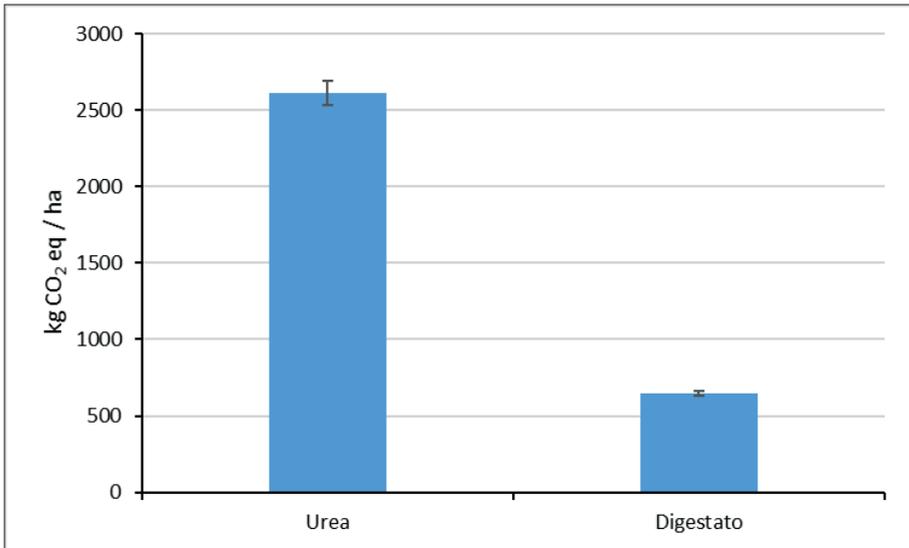


Fig. 4 Carbon footprint della concimazione con urea e digestato su mais

Conclusioni

La determinazione delle emissioni di gas serra e in particolare di anidride carbonica dalle colture cerealicole risulta di particolare interesse per la determinazione dell'impatto ambientale dell'agricoltura.

L'analisi effettuata evidenzia una forte influenza delle tecniche colturali e delle condizioni pedoclimatiche, oltre al ruolo determinante assunto dai sistemi produttivi e dagli obiettivi produttivi che vengono prefissati.

Analisi e ulteriori approfondimenti sono necessari nei contesti agricoli nazionali con protocolli comuni in modo da ottenere un quadro significativo e rappresentativo della situazione.

FEDERICA ROSSI

Culture energetiche. Il caso del panico

Il panico (*Panicum virgatum* L.) è una coltura perenne lignocellulosica che ha guadagnato un interesse crescente come fonte di biofuel. Uno studio durato quattro anni ed effettuato tramite EC ha consentito di monitorare lo scambio netto di questo tipo di coltura impiantata su 5 ha nella valle del Po in Emilia Romagna in conseguenza del cambio di uso del suolo dopo colture annuali. La GPP (Gross Primary Production) della coltura ammontava

a 58.2 Mg CO₂ ha⁻¹ anno⁻¹, di cui 24.5 (42%) erano fissati dall'ecosistema (NEE-Net Ecosystem Exchange). L'effetto sink si è mostrato fin dall'inizio dell'impianto, quando la biomassa e la sua attività fotosintetica erano ancora considerevolmente più ridotte rispetto agli anni successivi. Tenendo in conto anche solo i tre anni successivi (periodo post-impianto), la rimozione della CO₂ da parte del sistema è testimoniata dai valori negativi dell'NEE (-26.9MgCO₂ha⁻¹anno⁻¹). Una volta detratto il valore della biomassa rimossa, l'assorbimento del panico è risultato ancora positivo, attestandosi su valori pari a -8.4MgCO₂ha⁻¹anno⁻¹. La stima del "life cycle global warming effect" effettuata tramite LCA ha permesso di rilevare valori di effetto sink ancora maggiori (-12.4 Mg CO₂ha⁻¹anno⁻¹), grazie ai crediti ottenuti con il dislocamento della biomassa. Lo stesso lavoro (Di Virgilio et al., 2019) ha messo in evidenza l'efficienza dell'uso dell'acqua da parte di questa coltura che in media, utilizza 170m³ di acqua per fissare 1Mg di CO₂. In conclusione, quindi, il panico si è dimostrato essere, oltre che una utile coltura energetica, anche in grado di esercitare una azione positiva sull'assorbimento di CO₂.

BRUNO RONCHI

Il bilancio del carbonio nel sistema di allevamento del bovino da latte in Italia

Introduzione

Negli ultimi decenni si è verificata una notevole moltiplicazione di studi a livello mondiale per accertare l'impronta ambientale di alcuni prodotti alimentari, quali il latte, e dei relativi processi di produzione. La quasi totalità di tali suddetti è basata sull'impiego della metodologia *Life Cycle Assessment (LCA)*, riconosciuta come uno degli strumenti di indagine più utili per la valutazione della sostenibilità ambientale del settore agricolo. Tuttavia, se si prende in esame l'ampia bibliografia disponibile, emerge una sostanziale discordanza di risultati, dovuta allo scarso livello di armonizzazione e comparabilità del metodo impiegato al variare dei sistemi produttivi (C. Baldini et al., 2016). Nella breve rassegna vengono presi in esame alcuni degli studi condotti da ricercatori italiani negli ultimi decenni per accertare il *carbon footprint* dei sistemi di allevamento del bovino da latte e metodi per migliorarne la sostenibilità ambientale.

1. Studi basati sull'applicazione delle metodologie «Life Cycle Assessment (LCA)» Carbon footprint del latte bovino prodotto in Pianura Padana

Alcuni autori italiani (D. Lovarelli et al., 2019) hanno valutato l'impronta ambientale in un ampio campione di allevamenti di bovini da latte, della

provincia di Mantova, destinato alla trasformazione in Grana Padano e in Parmigiano Reggiano. Nelle aziende indirizzate alla produzione di Grana Padano l'erbaio di mais, per la produzione di insilato, interessava il 33,7% della superficie agricola aziendale, i medicai il 28,1. Nelle aziende indirizzate alla produzione di Parmigiano Reggiano i medicai interessavano il 63,6% della superficie agricola aziendale. Dallo studio è risultato che le aziende a più alta efficienza per la produzione del latte risultano avere una più elevata sostenibilità ambientale ed economica. Uno studio condotto nell'area emiliana di produzione del Parmigiano Reggiano (Centro Ricerche Produzioni Animali, 2016) ha permesso di calcolare il carbon footprint del latte vaccino. La voce più importante sulle emissioni complessive è rappresentata dalle emissioni enteriche, che pesano per il 41%. Le emissioni associate alla produzione di alimenti incidono per una quota variabile tra il 23 e il 30%. Valori minori di emissione, compresi tra il 6 e il 10%, sono stati riscontrati per le emissioni di metano e di protossido di azoto derivanti dalla gestione delle deiezioni, dal protossido di azoto derivante dalle fertilizzazioni e dalla anidride carbonica derivante dalla produzione dei mezzi tecnici. Le emissioni enteriche di metano sono strettamente legate alla digeribilità della razione. Una componente della gestione aziendale ad elevato impatto sulla impronta ambientale è costituita dalla quota annua di rimonta aziendale, cioè da quegli animali, numericamente non trascurabili, che non sono ancora in produzione ma contribuiscono alle emissioni complessive.

Da un progetto di ricerca finalizzato a quantificare in Pianura Padana e in altre aree italiane e mediterranee l'impatto ambientale di diversi sistemi zootecnici mediante la metodologia LCA (norme ISO Serie 14040 e raccomandazione 2013/179/UE), è risultato che il valore medio di emissioni di anidride carbonica per kg di latte bovino prodotto in Pianura Padana, normalizzato per contenuto di grasso e proteine, è pari a 1,38 kg CO₂ eq. (46% dalle emissioni enteriche e da stoccaggi; 38% dagli alimenti acquistati; 14% dalle colture; 2% dalla energia in stalla) (M.T. Pacchioli et al., 2020). Valori simili (1,37 kg CO₂ eq.) sono stati ottenuti in un precedente studio condotto in Lombardia, la regione che contribuisce a produrre oltre il 40% del latte italiano (Zucali et al., 2016).

Carbon footprint del latte bovino prodotto in aree montane

L'allevamento bovino da latte in Italia è fortemente improntato intorno a un sistema agro-zootecnico a medio-alto livello produttivo, diffuso in aree a forte vocazione agricola. Minori, ma non trascurabili, sono i sistemi di allevamento a medio-basso livello produttivo che utilizzano razze locali e fanno uso del pascolo nel periodo estivo, come nel caso degli allevamenti di piccole dimen-

sioni diffusi nell'arco alpino. Tali allevamenti necessitano di minori input e sono considerati importanti anche per l'insieme dei servizi ecosistemici (SE) che sono in grado di erogare. Tuttavia, sulla base di studi comparativi tra tale sistema di allevamento e quello più a carattere intensivo, la sostenibilità ambientale risulta relativamente bassa negli allevamenti che praticano l'alpeggio (Guerci et al., 2014). Ciò appare principalmente legato al basso livello produttivo e di efficienza alimentare. Gli stessi autori, così come altri in letteratura, mettono in discussione la validità dell'impiego del modello LCA per valutazioni comparative tra sistemi produttivi sensibilmente differenti. Inoltre, il modello LCA non considera adeguatamente i SE che possono essere erogati, tra i quali l'effetto del pascolamento sulla manutenzione delle praterie per la loro funzione di sequestro del carbonio.

Carbon footprint del latte bovino in relazione al tipo genetico

Alcuni autori hanno messo a confronto l'impronta ambientale della razza bovina Frisona Italiana e della razza Jersey in allevamenti italiani (Dalla Riva et al., 2014). Dai risultati emergono valori di emissione di anidride carbonica per kg di latte prodotto inferiori a quelli precedentemente riportati e significativamente inferiori nella razza Jersey: 0.80 kg CO₂ eq. vs. 0.96. La superiorità della razza Jersey, in termini di migliore impronta ambientale, è legata ad una minore ingestione di sostanza secca, ad una migliore capacità lattifera e a migliori performance riproduttive (età al primo parto, età alla riforma, quoziente annuo di avvicendamento).

Ulteriori contributi per comprendere l'effetto del tipo genetico sull'impronta ambientale dell'allevamento sono stati forniti da Baldini et al. (2020), che hanno condotto indagini su allevamenti di Pezzata Rossa Italiana, razza a duplice attitudine che risulta in fase di espansione in Italia. I valori di emissioni di GHG sono oscillati tra 1.1 e 1.4 kg CO₂ eq. per kg di latte normalizzato, a seconda del tipo di gestione aziendale.

Carbon footprint del latte bovino prodotto in Italia rispetto ad altri Paesi

Negli ultimi anni si è verificato un forte aumento a livello internazionale di studi riguardanti la stima del carbon footprint della produzione del latte bovino. La possibilità di comparare i diversi studi non risulta facile, sia per la complessità del metodo LCA utilizzato, sia per la natura del campione di aziende zootecniche. In molti casi, infatti, gli studi sono stati condotti su un campione di aziende non sufficientemente ampio da permettere di calcolare la variabilità aziendale. Da una recente analisi della letteratura scientifica condotta da Mazzetto et al. (2022), comparando lavori che hanno utilizzato la stessa metodologia, risultano i seguenti valori di emissione di CO₂ per kg di latte normalizzato:

Germania	1,53
Spagna	1,3
Italia	1,29
Canada	1.01
USA	0,96
Nuova Zelanda	0,74

Il contributo delle fermentazioni enteriche risulta largamente prevalente, con valori minimi del latte prodotto nel regno Unito (36%) e valori massimi del latte prodotto in Nuova Zelanda (68%). L'Italia si colloca in una fascia di valori intermedi, compresi tra il 48% (Berton et al., 2021) e il 53% (Lovarelli et al., 2019).

2. Linee di intervento per migliorare il «carbon footprint» dell'allevamento bovino da latte in Italia e per il raggiungimento della «carbon neutrality»

Il sistema di allevamento del bovino da latte in Italia può attuare ulteriori attività di gestione sostenibile ai fini di ridurre e compensare le emissioni zootecniche, ai fini di un pieno raggiungimento della carbon neutrality. In un recente progetto elaborato da alcuni studiosi italiani (M.V. Chiriaco et al., 2020), vengono evidenziati tre principali ambiti di azione:

- riduzione delle emissioni, mediante il miglioramento della dieta e la riduzione dell'utilizzo dei fertilizzanti chimici;
- aumento dei sink di carbonio, mediante riduzione delle lavorazioni dei suoli agricoli, mantenimento della copertura erbosa nelle colture permanenti, gestione dei residui agricoli delle colture arboree (interramento), ecc;
- sostituzione o riduzione delle emissioni dei combustibili fossili.

Ulteriori contributi per il miglioramento dell'impronta ambientale degli allevamenti di bovini da latte possono derivare dall'ampliamento della capacità di autoproduzione di alimenti, foraggi in particolare, dal miglioramento del valore nutritivo dei foraggi (applicazione di corrette tecniche di fienagione e di insilamento) e dalla somministrazione di razioni alimentari ben formulate. Per quanto attiene al miglioramento della capacità di autoproduzione aziendale dei foraggi, oltre agli aspetti puramente quantitativi dovrebbero essere presi in considerazione quei valori nutrizionali dei foraggi che risultano fondamentali per la bovina in lattazione, quali l'apporto di proteina digeribile (Zucali et al., 2018). Da tale studio sono emerse indicazioni interessanti sulla possibilità di ridurre il potenziale di acidificazione e di eutrofizzazione, migliorando la complessiva impronta ambientale, mediante l'impiego di insilati e fieni di leguminose.

Uno dei più comuni suggerimenti riguardante l'impiego degli alimenti concentrati, che rappresentano una quota molto importante della dieta della bovina in lattazione, consiste nel ricercare soluzioni per ridurre o eliminare l'uso della farina di estrazione di soia di coltivazione estera, per esempio attraverso l'impiego di farine di semi di girasole coltivato localmente (Lovarelli et al., 2019). La sperimentazione condotta da Pacchioli et al. (2020) ha dimostrato che applicando metodi di alimentazione di precisione è possibile migliorare l'efficienza produttiva del 12%, con una riduzione media delle emissioni di GHG del 5%, a carico delle emissioni enteriche. Gli stessi autori hanno evidenziato che con l'aumento della superficie coltivata a leguminose è possibile ottenere fino al 10% della riduzione di GHG.

Prospettive molto interessanti per aumentare il sequestro del carbonio nel suolo in forme non volatili sono legate alle applicazioni di corrette pratiche per inserire nel terreno i reflui dell'allevamento e al recupero di pratiche agronomiche di coltivazione dei prati permanenti o delle foraggere poliennali. I sistemi foraggeri legati alla produzione del Parmigiano Reggiano consentono di ottenere in Pianura Padana i più elevati stock di carbonio, comparativamente ad altri sistemi foraggeri per l'allevamento dei bovini da latte, con valori compresi tra 80 e 100 t/ha nello strato di suolo di 0-30 cm. (Pacchioli et al., 2020).

Molti studi recenti evidenziano la necessità di considerare con adeguata attenzione il carbonio sequestrato nelle coltivazioni vegetali ai fini di una corretta stima del bilancio del carbonio dei sistemi produttivi zootecnici. Tra questi il lavoro di De Vivo e Zicarelli (2021) che porta ad una stima della CO₂ fissata alla vegetazione coltivata superiore del 10% al quantitativo di CO₂ equivalente complessivamente risultante dal sistema di allevamento.

FRANCESCO FERRINI^{1,3,5}, ALESSIO FINI², EDGARDO GIORDANI¹, FEDERICA ROSSI^{4,5}, TEODORO GEORGIADIS^{4,5}, MARIANNA NARDINO⁴

Il bilancio del carbonio nei frutteti: casi studio e considerazioni

¹ DAGRI – Università di Firenze

² DISAA – Università di Milano

³ VALUE- Laboratorio congiunto SOI-UNIFI su Verde Urbano e Benessere

⁴ CNR- Istituto per la BioEconomia Consiglio Nazionale delle Ricerche- Bologna

⁵ Accademia dei Georgofili

Il caso studio melo

Questo studio (Zanotelli et al., 2018) è stato svolto in Trentino su un impianto cv Fuji ad alta densità allevato a palmetta (> 3000 piante ha⁻¹, altezza piante 3-4 m) su portinnesti nanizzanti (i.e. M9), che limitano lo sviluppo del sistema

radicale, con produzione pari a circa $60 \text{ t}^{\text{ha}^{-1}}$. Il calcolo della GPP (Gross Primary Production, che include l'intera quota di C in ingresso al sistema meletto) ha prodotto un valore di $\sim 1450 \text{ g C m}^{-2} \text{ anno}^{-1}$, del tutto comparabile a quello di un bosco situato nelle stesse condizioni di clima temperato (Luyssaert et al., 2007). Mentre però in sistemi non gestiti in diversi biomi viene riconosciuta una quota pressoché costante di respirazione pari a circa il 50% del C assorbito per via fotosintetica (Gifford, 2003; Piao et al., 2010; Reich et al., 2006; Vicca et al., 2012), questo valore è ridotto nel meletto a circa il 30% della GPP (Zanotelli et al., 2013). In questo, si riconosce come un agrosistema lavorato in modo efficiente abbia minori richieste di mantenimento e una più elevata efficienza di allocazione dei fotosintati verso la biomassa e, quindi, sia caratterizzato da una più elevata efficienza di uso del C (CUE) (Vicca et al., 2012). In particolare, la bassa concentrazione di azoto nei frutti e nel legno fa sì che la respirazione di mantenimento sia ridotta (Reich et al., 2006). Rispetto alla respirazione del suolo, la componente eterotrofa del medesimo ha una sua elevata significatività, essendo una frazione pari al 65 e 77 % del totale.

Per il meletto oggetto di questo studio si è calcolata una NPP (Net Primary Production) di circa $900\text{-}1000 \text{ g C m}^{-2} \text{ anno}^{-1}$, con la metà allocata ai frutti, mentre il 20-25% va alle strutture legnose, il 12% alle foglie e il 15% alle radici fini e all' restante vegetazione sottochioma.

Per dare un quadro completo sul comportamento di un meletto che si comporta come sink (sottrattore) o source (sorgente) di C atmosferico, si deve considerare che, se la NEP (Net Ecosystem Production; quindi, il C sottratto al netto della respirazione complessiva) del meletto è pressoché simile a quello di una foresta decidua a simile latitudine, una parte significativa di esso viene rimossa in ogni annata alla raccolta. E inoltre, come in tutte le colture agrarie, durante la coltivazione si utilizzano pratiche e materiali che emettono C, sia direttamente che indirettamente durante la loro sintesi, come ad es. antiparassitari e concimi. Quando non direttamente incorporato nei frutti commercializzabili, e quindi reso disponibile alla produzione diretta ($\sim 420 \text{ g cm}^{-2} \text{ y}^{-1}$, 95%), la maggioranza del C immagazzinato nella biomassa (frutti ascissi, foglie, materiale di potatura, radici fini, ammendanti/concimi organici) alimenta il pool di materiale che diventa sorgente di energia per gli organismi eterotrofi del suolo (Zanotelli et al., 2018).

Per concludere, l'impianto adulto di melo nel corso della propria vita produttiva si comporta come sink netto di CO_2 , immagazzinando in media $\sim 80 \text{ g C m}^{-2} \text{ anno}^{-1}$, equivalenti a $\sim 3 \text{ t CO}_2 \text{ ha anno}^{-1}$. Il calcolo LCA delle emissioni legate alle pratiche colturali (infrastrutture, macchine, sistemi di irrigazione, gasolio, fertilizzanti, antiparassitari e lavoro) nello stesso impianto ha raggiunto valori collocati tra 0.04 and $0.06 \text{ kg CO}_2 \text{ eq kg}^{-1}$ di mele (Mazzetto et al., 2012).

Dividendo il valore di 3 CO₂t per la produzione media di frutti, si ottiene un assorbimento netto pari a 0.05 kg CO₂eq kg⁻¹ di frutti prodotti, e questo porta ad affermare una neutralità del meleto in fase di produzione in campo. Ovviamente, ove si allarghi il campo di analisi alla conservazione, al trasporto e alla distribuzione, il valore si modifica, giungendo, a seconda del tipo di packaging e alle distanze percorse, a valori pari a 0.15 to 0.40 kg CO₂eq kg⁻¹ (Boschiero et al., 2019).

Longo et al. (2017) in uno studio condotto sulla filiera hanno poi messo in evidenza un maggior impatto ambientale in termini di emissioni di gas serra della produzione convenzionale rispetto a quella biologica, dimostrando anche che l'incidenza delle diverse fasi della filiera analizzate varia da pochi punti percentuali (intorno a 1% per il trasporto dal meleto al centri di conservazione) a valori molto più significativi in entrambe le modalità di produzione per la fase di coltivazione (~18%), per quella di post-raccolta (~42%) e del trasporto agli utilizzatori finali (~37%).

Il caso studio vite

Mentre le emissioni dovute al processo di vinificazione si calcolano in modo piuttosto preciso tramite LCA, meno diffuse sono le conoscenze sugli effetti della componente biogenica del vigneto sul bilancio del C.

Tuttavia, lo stato dell'arte riconosce che la fase colturale contribuisce alle emissioni di GHG dal 17% (Rugani et al., 2013) fino al 40% (Benedetto, 2010; Neto et al., 2013).

L'International Organisation of Vine and Wine (OIV) ha fornito una lista di raccomandazioni metodologiche per effettuare questa quantificazione nel settore viticolo. Tra le raccomandazioni, rientra quella di tenere in conto due diversi tipi di immagazzinamento del C: quello a breve termine per i grappoli e la crescita dei germogli, e quello a lungo termine per la biomassa perenne sotto e sopra suolo, che spesso sono le uniche considerate dalla letteratura disponibile.

Gli studi effettuati hanno visto diversi approcci distruttivi, calcoli allometrici, o misure con il laser scanning, che però hanno una limitata rappresentatività spazio-temporale. Un numero ridotto di studi ha interessato vigneti coltivati in clima temperato, molti su misure annuali (Gianelle et al., 2015; Marras et al., 2015;) e multiannuali (Vendrame et al., 2019; Marras et al., 2015), con risultati variabili tra 814 g C m⁻² anno⁻¹ (Pitacco and Meggio, 2015) fino a 69 g C m⁻² y⁻¹ rilevato da Vendrame et al. (2019) in una annata in cui lo stress idrico riduceva la fotosintesi a metà della giornata estiva. Nonostante l'alta variabilità, tutti gli studi hanno mostrato la capacità del vigneto di agire come sink biologico di C nel medio-lungo termine. Integrando lo studio

con una analisi inclusiva di LCA, Marras et al. (2015) hanno osservato, in un vigneto adulto irrigato situato nel sud della Sardegna, varietà Vermentino allevato a Guyot (circa 6000 viti ha⁻¹) che la produzione di 1 kg di uva ha determinato una emissione globale di GHG di 0.39 kg CO₂ eq, la maggioranza dei quali derivanti da input esterni quali combustione del carburante e la gestione del suolo. In Franciacorta, 5 anni di analisi continuative effettuate con Eddy Covariance (EC) (2017-2021) hanno dimostrato una azione positiva del vigneto a comportarsi come sink di C, con un assorbimento netto di circa 200 g C m⁻² anno⁻¹ (Pitacco et al., 2023).

Il caso studio actinidia

Rossi et al. (2021) riportano uno studio poliennale su *Actinidia deliciosa* L. che integra due approcci del tutto indipendenti (Eddy Covariance e Life Cycle Assessment) volti a definire la potenziale azione di un actinidieta di pianura (cv. Hayward, coltivato in Emilia-Romagna) ad agire come sink (assorbitore) o source (sorgente) di C. In una annata climatica standard (2012), le emissioni totali annuali conseguenti alla gestione sono state quantificate pari a 4.25 t CO₂eq-1 ha⁻¹ anno⁻¹ (pari a 1.16 tC), mentre l'assorbimento netto verificatosi durante la fase vegetativa è risultato addirittura più elevato, assestandosi a 4.9 t CO₂ eq-1 ha⁻¹ anno⁻¹ (pari a 1.34 t C). Questo ha portato a poter calcolare un rapporto di efficienza "di mitigazione" pari a 1.15 (assorbimenti/emissioni definiti come CO₂ immagazzinata/ CO₂ emessa). Questo dato si riferisce ovviamente a una tipologia di impianto a ottima gestione colturale e con alta disponibilità di acqua di irrigazione, in cui resta attiva e al suo massimo la efficienza stomatica tipica della specie.

Occorre notare però, che la capacità dell'actinidieta di fissare più carbonio di quanto ne emetta, viene negativamente alterata nel caso di verificchino annate climatiche più "difficili". Lo stesso impianto, infatti, nel caldo e siccitoso 2003, pur se sottoposto alle medesime cure colturali, ha mostrato una situazione completamente inversa e il rapporto di efficienza è calato a 0,91%, a parità di restituzione idrica dell'evapotraspirato e di gestione colturale. Si focalizza quindi, per sistemi produttivi ben gestiti di actinidia, una buona propensione ad agire come mitiganti delle emissioni, offrendo dalla loro parte quindi un notevole servizio ecosistemico. Ma si deve comunque tenere presente una forte dipendenza climatica di tale caratteristica, considerando che tale capacità è fortemente condizionata dall'andamento climatico, e messa a rischio dalla previsione di occorrenza di scenari di temperature estive più elevate della media.

Il caso studio olivo

Nardino et al., 2013 riportano misure dirette relative alla fissazione del C da parte di un oliveto semi-intensivo (piante giovani, in fase attiva di crescita, 250 piante/ha, irrigate) Cv Nocellara del Belice, situato a Castelvetrano, Sicilia, e quindi in un'area altamente vocata alla olivicoltura. Le misure, fatte per due anni consecutivi con la tecnica della Eddy covariance, hanno anche riguardato un confronto con il metodo inventariale. Lo scambio netto di C è variato tra 13,45 t C ha⁻¹ anno⁻¹ e 11,6 . Valori molto simili sono stati rilevati con il metodo inventariale, che ha quantificato l'accumulo di C tra 12,2 e 11,5 t ha⁻¹ anno⁻¹.

Questi valori sono sorprendentemente elevati, e addirittura più elevati di quelli di numerose foreste; infatti, si è osservato (Valentini et al., 2000), una correlazione positiva tra l'uptake di C e il decrescere della latitudine. A circa la stessa latitudine in cui si trova l'oliveto studiato, il valore medio degli ecosistemi forestali si attesta infatti attorno a 6 t C ha⁻¹ anno⁻¹. Il sistema oliveto, quando gestito con metodi efficienti e con la presenza di irrigazione supplementare per evitare deficit idrici controproducenti per evitare la chiusura stomatica o mettere in atto meccanismi di superamento dello stress, è quindi estremamente efficiente. Questo anche per merito della tipica configurazione fogliare, che con lo strato traslucido di tricomi abassiali ha la capacità di riflettere in grande quantità la radiazione termica (Baldini et al., 1997).

Le capacità degli oliveti di agire come sink di C atmosferico, nonostante le notevoli variazioni interannuali rilevate e alle diverse età degli impianti (gli oliveti vecchi hanno ovviamente performances molto inferiori), e dimostrate anche in numerosi altri studi (Brilli et al., 2019 ; Chamizo et al., 2017; López-Bernal et al., 2015).

Mentre lo scambio di C alle alte e medie latitudini risulta prevalentemente controllato dal fattore termico (Yi et al., 2010), alle latitudini di coltivazione dell'olivo, con condizioni climatiche più simili a quelle di aree tropicali e sub-tropicali, i fattori dominanti paiono essere la radiazione e l'acqua. Si verifica infatti in quelle zone un gran numero di giornate con alti valori di radiazione. Variabilità interannuale dei valori di fissazione del C sono normalmente osservati anche in bosco e in altri sistemi agrari e sono legati alle diverse condizioni meteo-climatiche della annata.

Considerazioni

Recentemente, sono state messe in atto moltissime iniziative volte a comprendere il potenziale di sequestro del Carbonio da parte della agricoltura per raggiungere i targets del Paris agreement ("4 per mille", Carbon Farming), ma metodi, regole e quantificazioni univoche del potenziale dei diversi settori del-

la agricoltura a questo riguardo sono ancora carenti, e questo espone a sostanziali critiche. Dai casi studio riportati emerge come, pur se in entità diversa e con effettive variazioni legate sia alla conformazione e gestione degli impianti, sia alla influenza climatica interannuale, le piante da frutto siano caratterizzate da una loro intrinseca elevata capacità di assorbire C dall'atmosfera, e in moltissimi casi, in quantità anche parecchio superiori a quello emesso (pur se si può obiettare che la attività di sink sia ridotta temporalmente alla sola durata dell'impianto).

La quantificazione tramite tecniche dirette come EC, ove implementate in network coordinati e gestiti in maniera uniforme, può davvero costituire uno strumento di grande utilità per definire in modo univoco l'attività di scambio delle diverse colture.

Il potenziale di molte specie da frutto è certamente ancora poco comunicato e, soprattutto se si adottano tecniche gestionali a ridotto impatto ambientale, non ancora sfruttate o anche recuperate dalla tradizione, come ad es. l'inerbimento. Esistono, e sono sempre maggiormente proposti al mondo produttivo, parecchi suggerimenti anche operativi che adottano pratiche cosiddette "smart", a basso impatto energetico e con ridotti input esterni, che favoriscono, contemporaneamente ad adattamenti ai cambiamenti climatici, anche potenziali mitigazioni (Rossi et al, 2018; Chieco e Rossi, 2019), e che rappresentano una base considerevole su cui ragionare per quantificare le prospettive dell'arboricoltura tra le iniziative di C farming. La conoscenza ancor più accurata (e la necessaria omogenizzazione dei dati, che sono espressi in modo diverso nei diversi studi) appare fondamentale per attestare in modo univoco le relative capacità di sequestro delle diverse specie per mettere a punto approcci sistemici che permettano di sfruttare sempre di più e sempre al meglio varietà e tecniche produttive in grado di accrescere lo stoccaggio del carbonio e, contemporaneamente, aumentare quantità e qualità delle produzioni.

MARCO MARCHETTI¹

Considerazioni su foreste e bilancio del carbonio

¹ UNIMOL e Fondazione Alberitalia ETS (GdL Carbonio)

Da ormai almeno tre decenni si cerca di valorizzare quantitativamente il servizio ecosistemico di assorbimento e sequestro dell'anidride carbonica atmosferica da parte dei sistemi forestali nei loro principali comparti inventariali (foreste, altre terre boscate, alberi fuori foresta) e nelle varie declinazioni le-

gate alla naturalità dei soprassuoli, alla loro tipologia, età e caratterizzazione ecologica che condizionano largamente l'efficacia dei diversi pool di carbonio (biomassa epigea, ipogea, necromassa e soprattutto il suolo). È bene però anche comprendere l'ordine di grandezza della quantità di emissioni di CO₂ prodotta come conseguenza delle principali attività necessarie alla piantagione e cura e coltivazione di alberi forestali. I fattori che influiscono sulle emissioni di ciascuna operazione sono infatti molti e variabili. Per questo è opportuno produrre una coppia di valori, uno minimo e uno massimo, all'interno dei quali molto probabilmente si colloca la quantità di emissioni di CO₂ effettivamente prodotta o assorbita. La scelta di specie adatte a una determinata area, la riduzione al minimo necessario delle irrigazioni o delle lavorazioni del terreno, consente alle piantagioni, siano esse di uno solo o di migliaia di alberi, di rendere il bilancio climaticamente positivo nel minor tempo possibile.

Circa poi l'opportunità di produrre protocolli di calcolo della fissazione forestale del carbonio in bosco che, rispetto a quelli IPCC o altri già disponibili, siano più avanzati e migliorati, sia per i progetti di impianto che di selvicoltura (non dei crediti, in attesa delle norme UE, ma dell'assorbimento e del sequestro, *sink e stock* di carbonio) si può far riferimento a modelli statistici di incremento basati su dati inventariali, dal livello specie-specifico a scala di popolamento (densità colma) a quello di singolo albero.

Per singole piante, anche il solo metodo della similitudine può funzionare direttamente per il volume, ma definire la fissazione di C da parte di una pianta non è facile, in quanto questa cambia drammaticamente in funzione dell'ambiente e soprattutto delle sue dimensioni: un albero può sottrarre anche più di 100 kg di CO₂ all'anno, ma si tratterà di una pianta di 30 metri di altezza e 100 anni di età. Per i nuovi impianti, un minimo di dati misurati è sempre necessario, per evitare intervalli di previsione eccessivi, e anche perché non è certo si debbano fare conteggi per soprassuoli di cui si conoscano esattamente età, specie, densità e ritmo di accrescimento. Si tenga presente che il nostro Paese ha un potenziale disponibile per nuove piantagioni stimato in 0,9 milioni di ha solo di aree agricole (Calfapietra, 2021), e 0,97 milioni ha di suoli non ancora impermeabilizzati in territori comunque insediati e artificializzati (Marchetti, 2018). Peraltro, nelle piantagioni, oltre alla biomassa epigea e ipogea, le componenti dei pools di lettiera, stoccaggio nel suolo e legno morto hanno un significato meno importante che in bosco (Federici et al., 2008). Comunque, è possibile stimare quanta CO₂ potrebbe sottrarre all'atmosfera un ettaro di nuovi impianti, considerando l'accumulo nell'intero ecosistema (*NEP, net ecosystem production*, Magnani e Raddi, 2021), assumendo che vengano garantite opportune cure colturali pre- e post-impianto (condizione purtroppo non sempre realizzata). Guardando ai risultati della

vasta rete di misura disponibile a livello mondiale, i livelli massimi si aggirano intorno a 10 t C ha⁻¹ anno⁻¹ (34 t CO₂ ha⁻¹ anno⁻¹). Valori più alti sono possibili solo con specie a rapida crescita ed elevati input sussidiari. A titolo di esempio, un impianto di latifoglie decidue di 12 anni nella pianura emiliana sequestra dall'atmosfera circa 3.7 t C ha⁻¹ anno⁻¹; si tratta di un valore in linea con quello stimato in impianti simili di età compresa fra 2 e 23 anni in Friuli Venezia Giulia, pari a 3.4 t C ha⁻¹ anno⁻¹ (nettamente superiori a quelli mediamente osservati nelle foreste italiane). Il sequestro netto di C dall'atmosfera è ovviamente molto maggiore nel caso di pioppeti specializzati (fino a 12.9 t C ha⁻¹ anno⁻¹ con 3-9 anni di età in Friuli Venezia Giulia su cicli brevi). Per le coperture forestali, i boschi e le foreste, si possono considerare il metodo della similitudine (età ed altezza di piante adiacenti della stessa specie) e l'applicazione di tavole alometriche, oppure lo sviluppo di modelli empirici di crescita specie-specifici che considerino anche parametri stazionali (clima, suolo...) o ancora l'applicazione di modelli a base funzionale. In ogni caso, poiché la capacità di fissazione del carbonio varia moltissimo, in funzione di specie, età, condizioni stazionali, climatiche e fertilità dei suoli, la comunità scientifica può solo fornire qualche valore di riferimento, e per il nostro paese il riferimento non può non essere l'Inventario Nazionale delle Foreste e dei serbatoi forestali di Carbonio – INFC, inventario forestale nazionale italiano (inventarioforestale.org) che consente l'accesso ai risultati e ai prodotti dei rilievi e delle elaborazioni: è possibile accedere alle statistiche, ai dati elementari e alla documentazione di progetto, essenziale per una corretta interpretazione delle informazioni. A livello nazionale i nostri boschi, distribuiti ormai su quasi 12 ml di ettari, accumulano complessivamente nella sola biomassa epigea (cui vanno aggiunti gli altri pools che necessitano di dati ulteriori, in primis i BEF - *biomass expansion factors*) 7.35 Mt C anno⁻¹, corrispondenti a un accumulo medio di 0.9 t C ha⁻¹ anno⁻¹, cui aggiungere la quantità di C fissata annualmente nel suolo, giungendo a stime di scambio netto dell'ecosistema coerenti coi valori medi osservati globalmente (1.1 t C ha⁻¹ anno⁻¹).

Le stime ovviamente variano a seconda dei metodi e dei protocolli utilizzati. Fondazione Alberitalia, insieme a SISEF, ha costituito un gruppo di lavoro coordinato da Federico Magnani e al quale lavorano altri tecnici e ricercatori che qui si ringraziano per i contributi e le discussioni in corso, per mettere a punto un metodo obiettivo e attento alle specificità delle condizioni nazionali. Attualmente infatti ci sono metodi in preparazione da parte di soggetti diversi, che a volte però dimenticano le criticità principali che esulano dal computo specifico e riguardano i principi di *addizionalità, permanenza, garanzia, definizione e certificazione di crediti*. Citiamo alcuni esempi correnti, considerando che anche le norme UNI stanno lavorando alla definizione di una Prassi

di Riferimento UNI sulla generazione di crediti di carbonio da acquacoltura, agricoltura biologica, impianto di corridoi ecologici e afforestazione urbana.

Il Codice Forestale del Carbonio 2.0, con CREA e uno specifico comitato scientifico stanno lavorando a un decreto interministeriale MASE-MASAF. I lavori sono in stadio avanzato e riguardano la preparazione di linee guida istituzionali per il mercato volontario dei crediti di carbonio e dei servizi ecosistemici. Non sarà un vero “protocollo”, ma la presentazione di regole che definiscano proprio gli aspetti più critici. L’aspetto del doppio conteggio è infatti particolarmente delicato, anche alla luce della difficile interpretazione dell’art 6.2 dell’Accordo di Parigi e di punti di vista differenti tra le amministrazioni centrali. Nel frattempo è uscita la proposta di regolamento UE sul Carbon Farming (si prevede possa disciplinare le principali criticità), che avrà un impatto decisivo una volta approvata e che ha il chiaro obiettivo di promuovere le attività per la rimozione della CO₂ atmosferica, includendo anche i settori agricolo e forestale, per conseguire l’obiettivo di 310 Mt di assorbimenti di carbonio entro il 2030 nel settore LULUCF (*Land use, land use change and forestry*).

ARBOLIA del gruppo SNAM ha sviluppato con Università della Tuscia un protocollo di calcolo ad hoc per le piantagioni, su dati esclusivamente nazionali provenienti da progetti realizzati negli ultimi 20 anni, prendendo in considerazione 24 specie arboree molto diffuse sul territorio italiano (tra cui *acero campestre, leccio, bagolaro, carpino, farnia, frassino*). Applicato ai 30 impianti boschivi urbani messi finora a dimora da Arbolia in oltre dieci Regioni, esso mostra che ogni singolo albero può assorbire mediamente tra i 5 e 15 kg di CO₂ all’anno su un arco temporale di 20 anni e dal momento della sua messa a dimora, a seconda della specie e del luogo di impianto.

Un’utile disamina dei vari protocolli già esistenti fuori dall’Italia, è stata realizzata da ISMEA (<https://www.reterurale.it/flex/cm/pages/ServeBLOB.php/L/IT/IDPagina/19133>), che ha poi realizzato il suo standard per le attività zootecniche (<https://www.reterurale.it/flex/cm/pages/ServeAttachment.php/L/IT/D/8%252Fb%252Ff%252FD.43b2f742b8214e314b6f/P/BLOB%3AID%3D22130/E/pdf>)

Il Parco Nazionale dell’Appennino Tosco Emiliano ha lanciato la sua piattaforma di vendita crediti su <http://creditisostenibilita.it>. I crediti sono venduti a un prezzo minimo di 30 euro/ton CO₂ anche se la loro definizione è ancora piuttosto vaga.

Progetto Life CO₂: il progetto segue le regole di calcolo dei crediti di carbonio elaborate da PEFC (Pan European Forest Certification) nel documento sulla certificazione dei servizi ecosistemici ([https://pefc.it/cosa-facciamo/sviluppo-standard-di-servizi-ecosistemici-di-foreste-e-piantagioni-pefc-italia/](https://pefc.it/cosa-facciamo/sviluppo-standard-di-servizi-ecosistemici-di-foreste-e-piantagioni-pefc-italia/sviluppo-standard-di-servizi-ecosistemici-di-foreste-e-piantagioni-pefc-italia)sviluppo-standard-di-servizi-ecosistemici-di-foreste-e-piantagioni-pefc-italia).

La variabilità dei fattori in campo tra emissioni legate ai disturbi e alle operazioni selvicolturali e sequestro (si pensi alla valutazione dell'effetto di misure di *climate smart forestry* sulle emissioni evitate da incendi o altri disturbi) è dunque tale che continui avanzamenti della ricerca e nuovi protocolli di calcolo lasciano sperare nella possibilità, a breve, di trovare metodi di stima finalmente adeguati e nei quali errori e assunti di base siano il più possibile limitati. Va tenuto presente che qualsiasi metodo di calcolo – auspicabilmente semplice ma scientificamente robusto – deve ricordare che nella gestione forestale, anche prescindendo da disturbi e prelievi, ci sono comunque da computare anche altre emissioni, specie nei lavori di utilizzazione, piantagione e rimboschimento (vedi il CONTACARBONIO su www.alberitalia.it): lavorare il terreno, aprire buche con un mezzo meccanico, irrigare e proteggere le piante dalla competizione con le alte erbe e dal morso dei mammiferi erbivori, ha un costo climatico. Piantare alberi, infatti, causa una certa quantità di emissioni che però, successivamente, viene riassorbita e stoccata nel legno grazie alla fotosintesi, la tecnologia migliore fornita da madre terra gratuitamente che abbiamo a disposizione.

BIBLIOGRAFIA ESSENZIALE

- Premessa. Gli alberi e l'accumulo di anidride carbonica nell'atmosfera*
 ANONIMO (2022): *Quanto è attendibile l'ipotesi di 1000 miliardi di alberi?*, «Natura e Società», n. 3, pp. 10-13.
- BAR-ON Y.M., PHILLIPS R. AND MILO R. (2018): *The biomass distribution on Earth*, «Proceedings of National Academy of Science», 115 (25), 6506-6511
- BASTIN J-F. ET AL. (2019): *The global tree restoration potential*, «Science», 365, pp. 76-79.
- FALKOWSKI P.G. AND RAVEN J.A. (2007): *Aquatic Photosynthesis*, Princeton University Press, ISBN: 9780691115511.
- FRIEDLINGSTEIN P. ET AL. (2022): *Global Carbon Budget 2022*, Earth System Science Data, vol. 14, 11, 4811-4900.
- LEWIS S.L. ET AL. (2019): *Restoring natural forests is the best way to remove atmospheric carbon*, «Nature», 568, pp. 25-28.
- KULIKOWSKI A.J. ET AL. (2023): *Restoration interventions mediate tropical tree recruitment dynamics over time*, «Philosophical Transactions Royal Society B», 378 (1867).

VELDMAN J.W. ET AL. (2019): *Comment on “The global tree restoration potential”*, «Science», 366, pp. 1-4.

Metodologie di misura e metodi di stima

FINKBEINER M., INABA A., TAN R., CHRISTIANSEN K., KLÜPPEL H.J. (2006): *The New International Standards for Life Cycle Assessment: ISO 14040 and ISO 14044*, «Int J Life Cycle Assessment», 11, pp. 80-85.

GUNDERSEN P., THYBRING E.E., NORD-LARSEN T., VESTERDAL L., NADELHOFFER K.J., JOHANNSEN V.K. (2021): *Old-growth forest carbon sinks overestimated*, «Nature», 591 (7851), pp. E21-E23.

LUYSSAERT S., SCHULZE E.D., BÖRNER A., KNOHL A., HESSENMÖLLER D., LAW B.E., CIAIS P., GRACE J. (2008): *Old-growth forests as global carbon sinks*, «Nature», 455 (7210) (2008), pp. 213-215.

McHALE M.R., BURKE I.C., LEFSKY M.A., PEPPER P.J., MCPHERSON E.G. (2009): *Urban forest biomass estimates: is it important to use allometric relationships developed specifically for urban trees?*, «Urban Ecosystems», 12, pp. 95-113.

Metodologia di misura e stima delle emissioni della trattrice

ASABE (American Society of Agricultural and Biological Engineers) (1997): *ASABE S349 Test for measuring Hydraulic lift capacity of agricultural tractor equipped with three-point hitch*; published 1988-12-01, ASABE, St Joseph, MI, USA.

BENGOA X., ROSSI V., NEMECEK T., LANSCHÉ J., MOURON P. (2014): *Methodological guidelines for the life cycle inventory of agricultural products*, Version 2.0. July 2014. World Food LCA Database. Quantis and Agroscope, Lausanne and Zurich Switzerland, pp. 1-7.

BRENTRUP F., KUSTERS J., KUHLMANN H., LAMMEL J. (2004): *Environmental impact assessment of agricultural production systems using the life cycle assessment methodology*, «Eur. J. Agron», 20, pp. 247-264.

EUROPEAN COMMISSION (2010 a): *Commission Directive 2010/22/EU of 15 March 2010 amending for the propose of their adaptation to technical progress, Council Directives 80/720/EEC, 86/298/EEC, 86/410/EEC, and 87/402/EEC and Directives 2000/25/EC and 2003/37/EC of the European Parliament and of the Council relating to the type-approval of agricultural and forestry tractors*, «Official Journal», L 91 10/4/2010, pp. 1-68.

EUROPEAN COMMISSION (2010 b): *Commission Directive 2010/26/EU of 31 March 2010 amending Directive 97/68/EC of the European Parliament and of the Council on the approximation of the laws of the Member States relating to measures against the emission of gaseous and particulate pollutants from internal combustion engines to be installed in non road-mobile machinery*, «Official Journal», L 86, 1/4/2010, pp. 29-47.

LOVARELLI D., BACENETTI J., FIALA M. (2016): *A new tool for life cycle inventories of agricultural machinery operations*, «Journal of Agricultural Engineering», XLVII, 480, pp. 40-51.

LOVARELLI D., BACENETTI J., FIALA M. (2017): *Effect of local conditions and machinery characteristics on environmental impacts of primary soil tillage*, «Journal of Cleaner Production», 140, pp. 479-491.

Analisi delle emissioni da cerealicoltura

COMMISSIONE EUROPEA (2020): *Comunicazione della commissione al parlamento europeo, al consiglio, al comitato economico e sociale europeo e al comitato delle regioni - strategia*

- farm to fork per un sistema alimentare equo, sano e rispettoso dell'ambiente*, com (2020), 381.
- ENTE NAZIONALE RISI (2021): http://www.enterisi.it/servizi/notizie/notizie_fase02.aspx?ID=32117
- FALLAHPOUR F., AMINGHAFOURI A., GHALEGOLAB BEHBAHANI A., BANNAYAN M. (2012): *The environmental impact assessment of wheat and barley production by using life cycle assessment (LCA) methodology*, «Environ. Dev. Sustain.», 14.
- FAO (2014): *Global Land Cover-SHARE of year 2014*. Beta-Release 1.0. http://www.glcn.org/databases/lc_glcshare_en.jsp
- EUROSTAT (2022): *Online datacode: ENV_AIR_GGE*. Source of data: European Environment Agency (EEA). Last data update:10/06/2022 11:00. Last structure update:10/06/2022. [https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/ENV_AIR_GGE\\$DV_447/default/table?lang=en](https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/ENV_AIR_GGE$DV_447/default/table?lang=en)
- ISPRA (2018): *Italian Greenhouse Gas Inventory 1990-2018*. National Inventory Report 2020. Rapporti 318/2020, ISBN: 978-88-448-0993-5
- ISTAT: http://dati.istat.it/Index.aspx?DataSetCode=dccn_contiematmrev2
- LINQUIST B., VAN GROENIGEN K.J., ADVIENTO-BORBE M.A., PITTELKOW C. & VAN KESSEL C. (2012): *An agronomic assessment of greenhouse gas emissions from major cereal crops*, «Global Change Biology», 18 (1), pp. 194-209.
- MYRGIOTIS V., WILLIAMS M., REES R.M. & TOPP C.F. (2019): *Estimating the soil N₂O emission intensity of croplands in northwest Europe*, «Biogeosciences», 16 (8), pp. 1641-1655.
- OERTEL C., MATSCHULLAT J., ZURBA K., ZIMMERMANN F., ERASMI S. (2016): *Greenhouse gas emissions from soils. A review*, «Geochemistry», 76 (3), pp. 327-352.
- SANZ-COBENA A., GARCÍA-MARCO S., QUEMADA M., GABRIEL J.L., ALMENDROS P., VALLEJO A. (2014): *Do cover crops enhance N₂O, CO₂ or CH₄ emissions from soil in Mediterranean arable systems?*, «Sci. Total Environ.», 466-467, 164-174.
- VERDI L., KUIKMAN P.J., ORLANDINI S., MANCINI M., NAPOLI M. & DALLA MARTA A. (2019): *Does the use of digestate to replace mineral fertilizers have less emissions of N₂O and NH₃?*, «Agricultural and Forest Meteorology», 269, pp. 112-118.
- Culture energetiche. Il caso del panico*
- DI VIRGILIO N., FACINI O., NOCENTINI A., NARDINO M., ROSSI F., MONTI A. (2019): *Four-year measurement of net ecosystem gas exchange of switchgrass in a Mediterranean climate after long-term arable land use*, «GCB Bioenergy», 11, pp. 466-482.
- Il bilancio del carbonio nel sistema di allevamento del bovino da latte in Italia*
- BALDINI C. ET AL. (2016): *A critical review of the recent evolution of Lyfe Cycle Assessment applied to milk production*, «Journal of Cleaner Production», 140, 10.1016/j.jclepro.2016.06.078.
- BALDINI M. ET AL. (2020): *Environmental sustainability assessment of dairy farms rearing the Italian Simmental dual-purpose breed*, «Animals», 10, 296, pp. 1-13.
- BERTON M. ET AL. (2021): *Environmental impacts of milk production and processing in the Eastern Alps: a "cradle-to-dairy gate" LCA approach*, «Journal of Cleaner Production», 30.
- CENTRO RICERCHE PRODUZIONI ANIMALI (2016): *Calcolo del «carbon footprint» del latte vaccino fresco*, Siti web: DOC-2016-1530/4.3.11.3.72/2013 del 30/06/2016
- CHIRIACÒ M.V. ET AL. (2020): *Metodologia per la stima della riduzione delle emissioni*

- elo dell'aumento degli assorbimenti da attività di gestione sostenibile*, Scheda di progetto ISMEA 14.1 Cambiamenti climatici, 1-49. Rete Rurale Nazionale.
- DE VIVO R. AND ZICARELLI L. (2021): *Influence of carbon fixation on the mitigation of greenhouse gas emissions from livestock activities in Italy and the achievement of carbon neutrality*, «Translational Animal Science», 5, pp. 1-11.
- DALLA RIVA A. ET AL. (2014): *Carbon footprint from dairy farming system: comparison between Holstein and Jersey cattle in Italian circumstances*, «Acta Agraria Kaposvariensis», 18, pp. 75-80.
- GUERCI M. ET AL. (2014): *Effect of summer grazing on carbon footprint of milk Italian Alps: a sensitivity approach*, «Journal of Cleaner Production», 73, pp. 236-244.
- LOVARELLI D. ET AL. (2019): *Improvements to dairy farms for environmental sustainability in Grana Padano and Parmigiano Reggiano production systems*, «Italian Journal of Animal Science», 18:1, pp. 1035-1048.
- MAZZETTO A.M. ET AL. (2022): *Mapping the carbon footprint of milk production from cattle: a systematic review*, «Journal of Dairy Science», 105.
- PACCHIOLI M.T. ET AL. (2020): *Forage systems for less GHG emission and more soil carbon sink in continental and Mediterranean agricultural areas*, Sito web https://www.crupa.it/media/documents/forage4climate_www/Pubblicazioni/deliverable/AfterLife_F4C.pdf?v=20210927
- ZUCALI M. ET AL. (2016): *Global warming and mitigation potential of milk and meat production in Lombardy (Italy)*, «Journal of Cleaner Production», 153, pp. 474-482.

Il bilancio del carbonio nei frutteti: casi studio e considerazioni

- AGUARON E., MCPHERSON E.G. (2012): *Comparison of methods for estimating carbon dioxide storage by Sacramento's urban forest*, in LAL R., AUGUSTIN B. (eds), *Carbon sequestration in urban ecosystems*, Springer, Dordrecht, pp. 43-71.
- AGUILERA E., GUZMÁN G., ALONSO A. (2015): *Greenhouse gas emissions from conventional and organic cropping systems in Spain. II. Fruit tree orchards*, «Agron. Sustain. Dev.», 35, pp. 725-737.
- BALDINI E., FACINI O., NEROZZI F. (1997): *Leaf characteristics and optical properties of different woody species*, «Trees», 12, pp. 73-81.
- BENEDETTO G. (2010): *Life cycle environmental impact of Sardinian wine*, EAAE Seminar 'Sustainability in the Food Sector: Rethinking the Relationship between the Agro-food System and the Natural, Social, Economic and Institutional Environments', Capri, Italy, June 30th–July 2nd.
- BOSCHIERO M., ZANOTELLI D., CIARAPICA F.E., FADANELLI L., TAGLIAVINI M. (2019): *Greenhouse gas emissions and energy consumption during the post-harvest life of apples as affected by storage type, packaging and transport*, «J. Clean. Prod.», 220, pp. 45-56.
- BRILLI L., LUGATO E., MORIONDO M., GIOLI B., TOSCANO P., ZALDEI A., LEOLINI L., CANTINI C., CARUSO G., GUCCI R., MERANTE P., DIBARI C., FERRISE E. BINDI M., COSTAFREDA-AUMEDES S. (2019): *Carbon sequestration capacity and productivity responses of Mediterranean olive groves under future climates and management options*, «Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change», 24, pp. 467-491.
- CERUTTI A.K., BRUUN S., DONNO D., BECCARO G.L., BOUNOUS G. (2013): *Environmental sustainability of traditional foods: the case of ancient apple cultivars in Northern Italy assessed by multifunctional LCA*, «J. Clean. Prod.», 52, pp. 245-252.
- CHAMIZO S., SERRANO-ORTIZ P., LÓPEZ-BALLESTEROS A., SÁNCHEZ-CAÑETE E., VICENTE-VICENTE J., KOWALSKI A.S. (2017): *Net ecosystem CO₂ exchange in an irrigated olive*

- orchard of SE Spain. Influence of weed cover, «Agriculture, Ecosystems and Environment», 239, pp. 51-56.
- CHIECO C., ROSSI F. (2019): *How can policy influence innovation: an exploration of climate-smart activities in Emilia Romagna*, «Italian J. Agrometeorology», 1, pp. 25-31.
- FACINI O., GEORGIADIS T., NARDINO M., ROSSI F., MARACCHI G., MOTISI A. (2007): *Il contributo degli impianti da frutto all'assorbimento della CO₂ atmosferica*, in *Clima e Cambiamenti Climatici le Attività di Ricerca del CNR, Impatto dei Cambiamenti Climatici*; Consiglio Nazionale delle Ricerche, Ed.; Consiglio Nazionale delle Ricerche, Rome, Italy; pp. 665-668.
- KELL D.B. (2012): *Philos. Large-scale sequestration of atmospheric carbon via plant roots in natural and agricultural ecosystems: why and how*, «Trans. R. Soc. Lond. B. Biol. Sci.», Jun 5, 367 (1595), pp. 1589-1597
- YI C. ET AL. (2010): *Climate control of terrestrial carbon exchange across biomes and continents*, «Environ. Res. Lett.», 5 034007.
- LAZZERINI G., MERANTE P., LUCCHETTI S., NICESE F.P. (2018): *Assessing environmental sustainability of ornamental plant production: a nursery level approach in Pistoia District, Italy*, «Agroecology and Sustainable Food Systems», 42 (3), pp. 1-22.
- LAZZERINI G., LUCCHETTI S. AND NICESE F.P. (2014): *Analysis of greenhouse gas emissions from ornamental plant production: A nursery level approach*, «Urban Forestry & Urban Greening», 13, pp. 517-525.
- LAZZERINI G., LUCCHETTI S., NICESE F.P. (2015): *GHG emissions from the ornamental plant nursery industry: A LCA approach in a nursery district in center Italy*, «Journal of Cleaner Production», 112, pp. 4022-4030.
- LÓPEZ-BERNAL A., GARCÍA-TEJERA O., VEGA V.A., JUAN C. HIDALGO, TESTI L, ORGAZ F. & VILLALOBOS F.J. (2015): *Using sap flow measurements to estimate net assimilation in olive trees under different irrigation regimes*, «Irrigation science», 33 (2015), pp. 357-366.
- MARRAS S., MASIA S., DUCE P., SPANO D., SIRCA C. (2015): *Carbon footprint assessment on a mature vineyard*, «Agric. For. Meteorol.», 214-215 (2015), pp. 350-356, 10.1016.
- MAZZETTO F., TAGLIAVINI M., CIARRAPICA F., NTERHOLZNER S. (2012): *Consumi energetici e impronta del carbonio: il caso della mela in frutticoltura*, «Rivista di Frutticoltura», 11, pp. 40-50.
- MOREIRA S.L.S., IMBUZEIRO H.M.A., SILVERT C., DIETRICH, O.H.S., PIMENTEL L.D. FERNANDES R.B.A (2020): *Above- and below-ground carbon accumulation in cultivated macauba palm and potential to generate carbon credits*, «Journal of Cleaner Production», 265, 121628.
- NARDINO M., ROSSI F., GEORGIADIS T., FACINI O., MOTISI A. (2013): *Annual and monthly carbon balance in an intensively managed Mediterranean olive orchard*, «Photosynthetic», 51, pp. 63-74.
- NETO A.C., DIAS A.C., MACHADO M. (2013): *Life cycle assessment of the supply chain of a Portuguese wine: from viticulture to distribution*, «Int. J. Life Cycle Assess.», 18 (2013), pp. 590-602.
- PITACCO A., TEZZA L., GHIGLIENO I., VENDRAME N. (2023): *Vineyard carbon balance: assessing the perspective for carbon farming through long-term eddy covariance measurements*, EGU General Assembly 2023, Vienna, Austria, 24-28 Apr 2023, EGU23-14771.
- ROSSI F, CHIECO C., DALLA MARTA A., STEFANSKI R. (2019): *Verso una agricoltura climate smart: accordi e attività internazionali*, «I Georgofili. Quaderni», 1, pp. 39-45.
- ROSSI F., CHIECO C., DI VIRGILIO N., GEORGIADIS T., NARDINO M. (20219): *Is Agriculture Always a GHG Emitter? A Combination of Eddy Covariance and Life Cycle Assessment*

- Approaches to Calculate C Intake and Uptake in a Kiwifruit Orchard*, «Sustainability», 13, 6906.
- RUGANI E., VASQUEZ ROVE I., BENEDETTO G., BENETTO E. (2013): *A comprehensive review of carbon footprint analysis as an extended environmental indicator in the wine sector*, «J. Cleaner Production», 54, pp. 61-77.
- NOWAK D.J., STEVENS J.C., SISINNI S.M., LULEY C. (2002): *Effects of urban tree management and species selection on atmospheric carbon dioxide*, «Journal of Arboriculture», 28 (3), pp. 113-122.
- PAGE G., KELLY T., MINOR M., CAMERON E. (2011): *Modeling carbon footprints of organic orchard production systems to address carbon trading: an approach based on life cycle assessment*, «Hortscience», 46, pp. 324-327.
- SCANDELLARI F., CARUSO G., LIGUORI G., MEGGIO F., PALESE M. A., ZANOTELLI D., CELANO G., GUCCI R., INGLESE P., PITACCO A., TAGLIAVINI M. (2016): *A survey of carbon sequestration potential of orchards and vineyards in Italy*, «Eur. J. Hortic. Sci.», 81, pp. 106-114, 10.17660/ejhs.2016/81.2.4.
- SHARMA S., RANA V.S., PRASA H., LAKRA J., SHARMA U. (2021): *Appraisal of Carbon Capture, Storage, and Utilization Through Fruit Crops*, «Front. Environ. Sci.», 9:700768.
- SLINGSBY J.A. (2020): *Forest restoration or propaganda? The need for Transparency and Openness Promotion (TOP) scores to uphold research integrity*, «S. Afr. J. Sci.», 2020, 116 (7/8), Art. #7684, 4 pages.
- STROHBACH M.W., ARNOLD E., HAASE D. (2012): *The carbon footprint of urban green space. A life cycle approach*, «Landscape & Urban Planning», 104, pp. 220-229.
- VALENTINI R., MATTEUCCI G., OLMAN D., SCHULTZE A.J., EMANN E.R., MOORS C., RANIER G., GROSS A., JENSEN P. (2000): *Respiration as the main determinant carbon balance in European forests*, «Nature», 404, pp. 861-865.
- VENDRAME N., TEZZA L., PITACCO A. (2019): *Study of the Carbon Budget of a Temperate-Climatic Vineyard : Inter-Annual Variability of CO₂ Flux*, «Am. J. Enol. Vitic.», 70, pp. 34-41.
- WANG Y.X., WENG B.Q., YE J., ZHONG Z.M., HUANG Y.B. (2015): *Carbon sequestration in a nectarine orchard as affected by green manure in China*, «Eur. J. Hortic. Sci.», 80 (5), pp. 208-215.
- WEISSERT L.F., SALMOND J.A., SCHWENDENMANN L. (2017): *Photosynthetic CO₂ uptake and carbon sequestration potential of deciduous and evergreen tree species in an urban environment*, «Urban Ecosys.», 20, pp. 663-674.
- WU T., WANG Y., YU C., CHIARAWIPA R., ZHANG X. ET AL. (2012): *Carbon Sequestration by Fruit Trees - Chinese Apple Orchards as an Example*, PLoS ONE 7(6):e38883. doi:10.1371/journal.pone.0038883.
- ZANNE A.E., LOPEZ-GONZALEZ G., COOES D.A., ILIC J., JANSEN S., LEWIS S.L., MILLER R.B., SWENSON N.G., WIEMANN M.C., AND CHAVE J. (2009): *Global wood density database*, Dryad Identifier.
- ZANOTELLI D., VENDRAME N., LÓPEZ-BERNAL Á., CARUSO G. (2018): *Carbon sequestration in orchards and vineyards*, Review n. 36, «Italus Hortus», 25 (3).

Considerazioni su foreste e bilancio del carbonio

- FEDERICI S., VITULLO M., TULIPANO M., DE LAURETIS R., SEUFERT G. (2008): *An approach to estimate carbon stocks change in forest carbon pools under the UNFCCC: the Italian case*, «iForest - Biogeosciences and Forestry», Volume 1, Issue 2, pp. 86-95.
- MAGNANI F., RADDI S. (2021): *Afforestation and CO₂ fixation: a few reference figures from*

- scientific research*, «Forest@ - Journal of Silviculture and Forest Ecology», Volume 18, pp. 60-63.
- MARCHETTI M. (2018): *The new National Forest Law, a very encouraging step forward*, «Forest@ - Journal of Silviculture and Forest Ecology», Volume 15, pp. 18-19.

Ricreare la Rete Nazionale della Vivaistica Forestale

Gruppo di Lavoro

Raffaello Giannini (coordinatore) Carlo Chiostrì, Francesco Ferrini,
Francesco Mati, Marco Marchetti, Andrea Massaini, Moreno Moraldi,
Giuseppe Pignatti, Riccardo Russu, Dino Scanavino, Alessandra Stefani

La Strategia Forestale Nazionale (SFN), approvata dall'ex-MIPAAF di concerto con il MIC, il MITE e il MISE e d'intesa con la Conferenza permanente per i rapporti tra lo Stato, le Regioni e le Province autonome di Trento e Bolzano (D. Lg. 3 aprile 2018, n. 34 - TUFF), pone in evidenza tra i punti di grande attenzione, l'importanza dell'attività vivaistica forestale, settore su cui investire con celerità per poter disporre di materiale di propagazione certificato da impiegare, tra l'altro, nell'incremento della superficie forestale e nel miglioramento qualitativo dei nostri boschi.

L'Accademia dei Georgofili con l'Accademia Italiana di Scienze Forestali, la Fondazione Alberitalia, l'Associazione Nazionale delle Attività Regionali Forestali (ANARF) e le Associazioni Vivaistiche Italiane, ha organizzato una specifica giornata di studio su questo tema, con l'intento di conoscere quanto il dialogo tra "vivaismo forestale" e "vivaismo ornamentale", ambedue ambiti caratterizzati da aspetti sovrapponibili, ma anche da aspetti fortemente differenziati, potesse contribuire a ricreare una Rete Nazionale della Vivaistica Forestale.

In questo senso veniva anche sottolineata l'importanza e l'attualità del ruolo svolto dalla presenza della copertura arborea degli ecosistemi forestali e delle foreste e verde urbano, nell'attenuazione degli effetti negativi dovuti ai cambiamenti climatici e al dissesto idrogeologico.

Nel passato il vivaismo forestale nel nostro Paese è stato di riferimento quasi esclusivamente pubblico, gestito da una struttura che aveva funzioni anche di controllo e di certificazione, che si è progressivamente dissolto e reso oggi quasi inesistente, mentre le aziende vivaistiche private hanno, ad oggi, scarsa esperienza nel campo della vivaistica strettamente forestale, salvo poche importanti eccezioni. Tra l'altro il vivaismo forestale ha come obiettivo quello di produrre materiale di propagazione rappresentativo della variabilità gene-

tica a livello intraspecifico. Il vivaismo ornamentale guarda invece con grande interesse i singoli fenotipi che produce spesso per moltiplicazione vegetativa. In effetti non possiamo dimenticare che questa tecnica è impiegata nella pioppicoltura, eccellenza italiana, la cui produzione di biomassa contribuisce a ridurre i prelievi legnosi dai boschi esistenti.

Il rimboschimento/imboschimento, cioè la creazione di un ecosistema forestale, implica necessariamente un progetto coinvolgente che operi su vasta scala per periodi temporali lunghi. Così molto lunghi, sono anche i periodi generazionali di adattamento degli alberi forestali rispetto agli effetti rapidi dei cambiamenti climatici, per cui è necessario studiare una nuova selvicoltura adattativa imperniata su di una selezione genotipica specifica, oggi accessibile, per la produzione di materiali di propagazione adattati.

Più in generale occorre individuare uno spazio di sicurezza fondato sul principio della “automazione naturale” in cui la conservazione della biodiversità e della variabilità genetica rappresenti il tasso di adattabilità delle specie e punto di partenza per una continuità evolutivistica che è necessario garantire. In tal senso è da considerare positivo il fatto che, in attuazione del TUFF, il MASE abbia concertato uno specifico decreto per ampliare in numero i Centri della Biodiversità coinvolgendo le Istituzioni Nazionali impegnate nella ricerca e sperimentazione.

Inoltre, ai fini di una corretta programmazione della produzione vivaistica, è indispensabile disporre della massima trasparenza delle informazioni sulla consistenza e caratteristiche del materiale di propagazione disponibile all’impegno a livello nazionale.

Da tempo sono continui gli inviti tesi a rendere “più verde” il nostro pianeta non solo per contrastare e mitigare l’azione dei cambiamenti climatici, ma anche per alleggerire la pressione di utilizzazione dei boschi esistenti. La “piantazione di nuovi alberi” riguarda anche il verde urbano e periurbano, ma anche la realizzazione di frangivento e fasce di insonorizzazione e di alberature. Il tema è molto ampio e raggruppa differenti interventi attuativi che possono essere inseriti nel settore del rimboschimento/imboschimento ovvero nella realizzazione di un ecosistema bosco.

È evidente inoltre la necessità di individuare la locazione delle aree da rimboschire e stabilire i criteri da seguire per la loro scelta. Il suolo disponibile è oggi quasi totalmente di proprietà privata ed è soggetto alla “concorrenza” della produzione alimentare, con quella dei biocarburanti e con quella richiesta dall’urbanizzazione.

Sono necessari supporti finanziari certi di lungo periodo (Stato e Regioni) e una pianificazione di appositi servizi inseriti in un contesto di sviluppo sostenibile coinvolgente gli aspetti ambientali, paesaggistici, economico-sociali.

Occorre una garanzia di nessun cambiamento d'uso del futuro suolo destinato a bosco, di correttezza nella scelta della specie, della disponibilità del materiale di propagazione che deve essere certificato nei confronti delle caratteristiche intrinseche, estrinseche e sanitarie, dell'attuazione delle cure colturali almeno fino allo stadio di sviluppo di maturità del nuovo soprassuolo.

E ancora ci dobbiamo chiedere: chi insegna oggi il "mestiere" di vivaista forestale? È necessario riprendere piena coscienza del ruolo della formazione del tecnico-professionale e favorirne la propria specificità.

Gli interventi dei partecipanti alla giornata di studio hanno evidenziato con chiarezza quanto il progetto sia impegnativo e di lungo periodo, ma realizzabile se verrà sviluppato a livelli elevati di coordinamento attraverso specifici contratti di coltivazione, supportati da una governance pubblica efficace imperniata sugli aspetti propri della sostenibilità economica. Da quanto emerso nella giornata di studio sopra citata è chiaro che il contributo che il vivaismo può dare alla realizzazione degli obiettivi delineati nell'ambito della Strategia Forestale Nazionale si muove in due distinte direzioni. Da una parte abbiamo obiettivi di natura privatistica e in questo contesto l'attività vivaistica deve muoversi secondo i principi di un'attività d'impresa che deve essere autonoma e capace di creare ricchezza. Il contributo pubblico può essere pensato solo al fine di agevolare la ricostruzione di quella filiera che negli ultimi anni è venuta a mancare. È quindi necessario procedere a un'attenta analisi dei fabbisogni e degli investimenti necessari per riattivare e poi mantenere questa rete. Dall'altra parte abbiamo, invece, obiettivi che si muovono nella sfera dell'interesse pubblico e qui è possibile che l'attività vivaistica non sia in grado di arrivare a una sufficiente remunerazione della propria attività. In questo caso l'intervento pubblico è indispensabile, ma deve essere sempre commisurato ai benefici prodotti che diventano il parametro soglia per stabilire il limite del finanziamento erogabile.

Quesiti e brevi risposte sui prodotti alimentari “alternativi alla carne”

Bruno Ronchi

Dipartimento di Scienze Agrarie e Forestali,
Università degli Studi della Tuscia; Presidente Comitato consultivo
Allevamenti e prodotti animali dell'Accademia dei Georgofili

PREMESSA

Negli ultimi decenni si è assistito a un progressivo e considerevole incremento a livello internazionale di interessi di varia natura sulla cosiddetta “carne del futuro”, cioè sui prodotti alimentari definiti “simili alla carne”, oppure “analoghi”, o “alternativi” alla carne. Nella presente trattazione verrà usata soltanto la definizione “alternativo alla carne”, poiché si ritiene che i termini “simile” e “analogo” non siano pienamente giustificati dalle attuali conoscenze scientifiche e possano creare elementi di grande confusione.

Dall’analisi della produzione scientifica dell’ultimo decennio emerge una forte crescita di interessi sulla tematica delle fonti proteiche derivanti da insetti e da vegetali. Più contenuta, ma non trascurabile, è la crescita di pubblicazioni sulla “carne da laboratorio”¹.

A livello economico si è evidenziato negli ultimi decenni un forte incremento degli investimenti per lanciare sul mercato alimenti “alternativi alla carne”, una moltiplicazione delle imprese e una grande dinamica di tale segmento. Tutto ciò fa prevedere che nel prossimo futuro tali alimenti non occuperanno più una posizione di nicchia rispetto al grande mercato che si è sviluppato intorno alla carne.

Sui prodotti “alternativi alla carne” si è anche sviluppato un intenso dibattito sociale e politico a livello internazionale, talvolta non adeguatamente sostenuto da supporti scientifici, quanto piuttosto da tendenze ideologiche. Gli

¹ T. JETZKE ET AL. (2022): *Meat of the future: Trend report for assessing the environmental impacts of plant-based substitutes, edible insects, and in vitro meat*, Web site www.umweltbundesamt.de/publikationen.

argomenti centrali sono stati e continuano a essere rivolti ad alcune criticità dei prodotti di origine animale:

- riflessi del consumo di carne sulla salute umana (insaccati, carne rossa...);
- influenza dei sistemi zootecnici, intensivi in particolare, sul benessere animale;
- impronta ambientale delle produzioni animali (consumo di suolo, consumo di acqua, emissioni di gas serra...).

A livello europeo il mercato si è prevalentemente orientato su prodotti alimentari di origine vegetale “alternativi” alla carne, che stanno richiamando un interesse crescente dei consumatori. Gli ulteriori sviluppi di tale mercato dipenderanno da una serie di fattori, tra i quali il livello di accettabilità da parte dei consumatori, legato sia alla emanazione di chiare disposizioni normative, sia alla trasparenza di quanto dichiarato in etichetta e, non ultimo, dai costi. Le prospettive del mercato di prodotti “alternativi” alla carne dipenderanno anche dalle decisioni che verranno prese in futuro sui sistemi di produzione animale indirizzati alla produzione della carne, in relazione alla loro impronta ambientale, al benessere degli animali allevati e a considerazione relative al rapporto con la salute umana.

La presente nota intende affrontare alcune delle più comuni esigenze di informazione del consumatore intorno ai “prodotti alternativi alla carne”, fornendo, sulla base di recenti contributi scientifici e in forma strettamente divulgativa, risposte sintetiche.

Verranno affrontati i seguenti quesiti:

- Quali sono le caratteristiche dei “prodotti alimentari alternativi alla carne”?
- Quale è il parere dei consumatori italiani sui prodotti alimentari “alternativi alla carne”?
- Quali sono le principali criticità dei prodotti alimentari “alternativi alla carne”?
- I prodotti alimentari “alternativi alla carne” possiedono proprietà nutrizionali e salutistiche comparabili o superiori alla carne?
- I prodotti alimentari “alternativi alla carne” hanno una sostenibilità ambientale migliore rispetto ai sistemi zootecnici di produzione della carne?
- Quali sono le principali domande di ricerca sui prodotti alimentari “alternativi alla carne”?

Verranno prese in esame le seguenti principali categorie di alimenti:

- alimenti proteici di origine vegetale;
- alimenti proteici derivanti da insetti;

- alimenti proteici derivanti da carne prodotta in laboratorio da cellule (“cell-based meat”), altresì definita “carne artificiale”.

La trattazione non può essere considerata esaustiva, in quanto alcune categorie di alimenti, quali per esempio quelli derivanti da biosintesi proteica operata da microrganismi (lieviti, batteri...), non vengono prese in esame.

QUALI SONO LE CARATTERISTICHE DEGLI ALIMENTI PROTEICI DI ORIGINE VEGETALE?

Gli alimenti proteici di origine vegetale, quali il Tofu, il Tempeh e il Seitan, occupano da molto tempo una posizione di rilievo nella dieta di alcune popolazioni e sono in fase di espansione anche in aree nelle quali è prevalente e tradizionale il consumo di carne. La prima generazione di alimenti proteici di origine vegetale era rappresentata da alimenti a base di soia, molto diffusa nella dieta dei popoli asiatici. Il Tofu fu creato in Cina durante la dinastia Han, risalente a circa 200 anni prima di Cristo². La seconda generazione ha previsto l'impiego di una ampia serie di ingredienti e di numerose manipolazioni, come ad esempio l'estrusione, tesi a migliorarne le caratteristiche sensoriali e il valore nutritivo complessivo. Gli alimenti proteici di origine vegetale vengono definiti “naturali” se il prodotto non prevede l'applicazione di rilevanti processi tecnologici, tesi a eliminare aspetti negativi o ad aggiungerne di positivi³. Alcuni esempi sono rappresentati dalle alghe, dai legumi e dai funghi. Vengono invece definiti “processati” quegli alimenti proteici di origine vegetale che vengono sottoposti ad importanti processi di lavorazione e/o che prevedono l'aggiunta di ingredienti quali gli additivi⁴. Ai fini della elaborazione di prodotti alimentari di origine vegetale “simili” alla carne, il punto di partenza è rappresentato dalla proteina vegetale, che viene sottoposta a trattamenti tecnologici idonei per trasformare la sua struttura e renderla più idonea ad interagire con carboidrati complessi ai fini di creare una consistenza simile alla carne⁵. Possono poi essere aggiunti, a seconda del tipo di prodotto, pigmenti rossi e altri additivi di varia natura, e alcuni nutrienti quali sali minerali, vitamine, ecc.

² A. BAKHSH ET AL. (2020): *Traditional plant-based meat alternatives, current, and future perspectives: a review*, «Journal of Agriculture and Life Science», 55, pp. 1-10.

³ S. JAHN ET AL. (2021): *Plant-based meat alternatives: motivational adoption barriers and solutions*, «Sustainability», 13, 13271.

⁴ *Ibidem*.

⁵ L. SHA & Y.L. XIONG (2020): *Plant protein-based alternatives of reconstructed meat: science, technology, and challenges*, «Trends in food science & technology», 102, pp. 51-61.

QUALI SONO LE CARATTERISTICHE DEGLI ALIMENTI PROTEICI DERIVANTI DA INSETTI?

L’“entomofagia”, o “consumo alimentare degli insetti”, non rappresenta una tendenza del tutto recente, in quanto risulta ben radicata e tradizionale in alcune aree geografiche⁶. Nonostante nelle aree tropicali siano centinaia le specie di insetti edibili e oggetto di consumo, l’attenzione del mondo scientifico e del settore produttivo e commerciale per le esigenze del mondo occidentale si è indirizzata soprattutto su alcune di queste, quali *Hermetia illucens* L.⁷. Oltre ad avere un alto contenuto proteico, gli insetti, consumati come tali o inclusi in altre preparazioni alimentari, possono contribuire all’approvvigionamento di aminoacidi essenziali, di sali minerali, di vitamine e di altri nutrienti essenziali per l’alimentazione umana. Inoltre, la farina di insetti può trovare impiego nella preparazione di alimenti per animali da affezione o di interesse zootecnico. In generale gli insetti si prestano abbastanza bene per sistemi produttivi di tipo industriale, in quanto hanno: un ciclo di sviluppo breve, rapidi accrescimenti, elevati coefficienti di conversione alimentare, la possibilità di essere allevati in spazi confinati e una scarsa suscettibilità alle patologie.

QUALI SONO LE CARATTERISTICHE DEGLI ALIMENTI PROTEICI DERIVANTI DA CARNE PRODOTTA IN LABORATORIO DA CELLULE?

La carne “prodotta in laboratorio da cellule”, definita anche “carne artificiale”, deriva dallo sviluppo in un ambiente ad alto livello di controllo di cellule prelevate da animali. La prima realizzazione di hamburger ottenuto da cellule coltivate in laboratorio risale al 2013, ad opera di Mark Post. Ma l’idea di ottenere un qualcosa di bio-artificiale simile al muscolo di un animale, ma senza bisogno di allevamenti, viene attribuita addirittura a Churchill, che nel 1932 avanzò tale ipotesi nel suo libro *Thoughts and adventures*⁸. Si riporta di seguito un breve passaggio: «We shall escape the absurdity of growing a whole chicken in order to eat the breast or wing, by growing these parts separately under a suitable medium. Synthetic food will, of course, also be used in the future». Nel 2008 si tenne in Norvegia, presso il “Norwegian Food Research Institute”, il primo convegno ufficiale sulla

⁶ M. RUSKOVA ET AL. (2023): *Edible insects – new meat alternatives: a review*, «Journal of Central European Agriculture», 24(1), pp. 260-267.

⁷ A. VAN HUIS (2016): *Edible insects are the future?*, «Proc. Of the Nutrition Society», 75, pp. 294-305.

⁸ S. DE SURET & E. VOSSEN (2016): *Meat: the balance between nutrition and health: a review*, «Meat Science», 120, pp. 145-156.

carne prodotta da colture cellulari, organizzato da “In vitro meat consortium”, un team composto da ricercatori provenienti da diverse parti del mondo⁹.

Nel giugno 2023 il Dipartimento dell’Agricoltura degli Stati Uniti ha espresso un parere positivo per la produzione e la commercializzazione di carne di pollo prodotta in laboratorio, diventando così il secondo Paese al mondo dopo Singapore a legalizzare la cosiddetta “carne artificiale”.

A livello mondiale risultano attualmente censite più di cento compagnie che hanno deciso di investire sulla carne prodotta in laboratorio e si stima una forte espansione futura di tale segmento di mercato.

Le cellule muscolari prelevate dal bovino, o da altre specie animali, vengono dapprima sottoposte a valutazione, selezione, isolamento e conservazione ai fini della produzione vera e propria. L’intera sequenza dei processi può essere schematizzata come di seguito indicato:

- prelievo di un campione di muscolo previa anestesia da un animale in vita;
- separazione delle cellule muscolari staminali o delle cellule satellite da altre componenti cellulari;
- preparazione di linee cellulari (possibilità di produrre attraverso modificazioni genetiche o per selezione linee cellulari “immortali”, che possono replicare continuamente);
- induzione della proliferazione e differenziazione cellulare (utilizzando eventualmente altri tipi di cellule come gli adipociti) attraverso agenti stimolanti (medium) per produrre mioblasti;
- sviluppo e maturazione del prodotto in un bioreattore di grandi dimensioni, con l’impiego di sostanze (ormoni, antibiotici, nutrienti...) che simulano quello che avviene in natura e proteggono lo sviluppo cellulare;
- raccolta del prodotto per centrifugazione, sedimentazione, filtrazione;
- ulteriori trattamenti tecnologici per rendere il prodotto simile alla carne.

QUALE È IL PARERE DEI CONSUMATORI ITALIANI SUI PRODOTTI ALIMENTARI “ALTERNATIVI ALLA CARNE”?

Il consumo di alimenti di origine animale è molto radicato in Italia e fa solidamente parte della tradizione gastronomica, anche in considerazione della ampia varietà di carni e soprattutto di formaggi. Per le carni i consumatori

⁹ K.A. CHODKOWSKA ET AL. (2022): *Sustainable future protein foods: the challenges and the future of cultivated meat*, «Foods», 11, 4008.

hanno una vasta possibilità di scelta anche di carni prodotte localmente a partire da razze autoctone.

Dati recenti sul consumo di carne in Italia indicano per l'anno 2021 un quantitativo medio annuo per individuo pari a 59 kg¹⁰, comprensivo di carne fresca e di carne lavorata. Va tuttavia sottolineato che tale valore di consumo, sulla base del percorso di stima che normalmente viene seguito, rappresenta non il consumo reale di carne, bensì il consumo apparente, al lordo di una serie non trascurabile di scarti di macelleria e di perdite varie. L'Associazione per la Scienza e le Produzioni Animali ha, con una apposita commissione di studio, calcolato su scala nazionale il consumo reale di carne, applicando il metodo della detrazione preventiva delle perdite, che fornisce un dato affidabile¹¹. I risultati ottenuti indicano un consumo medio giornaliero pro-capite pari a 104 g, equivalente a 38 kg annui. Tale valore si colloca perfettamente entro la fascia raccomandata da diversi organismi di ricerca internazionali di consumo di carne.

Alcune informazioni sulle tendenze del consumatore italiano nei confronti di alimenti “alternativi alla carne” sono state fornite da un recente studio che ha svolto una dettagliata analisi della letteratura per comprendere l'atteggiamento nei confronti di alimenti proteici di origine vegetale, di insetti e di carne ottenuta in laboratorio¹².

Nei riguardi degli alimenti proteici di origine vegetale il consumatore italiano manifesta un certo interesse e dimostra di conoscere alcuni dei prodotti disponibili sul mercato. Le motivazioni per il consumo di tali prodotti includono principalmente aspetti di carattere salutistico, anche se emergono alcune preoccupazioni sulle tecnologie di lavorazione industriale adottate. Sta inoltre emergendo una certa attenzione anche ai benefici ambientali di una fonte proteica di origine vegetale, anche se i consumatori non hanno informazioni adeguate su tale aspetto. Il consumatore in linea generale ritiene necessaria una maggiore e più trasparente informazione sui costituenti e sui valori nutrizionali dei prodotti disponibili in commercio; inoltre, ritiene auspicabile un processo di miglioramento di alcune caratteristiche sensoriali.

Nei riguardi del consumo di insetti emergono forti barriere di diffidenza, responsabili di una scarsa disponibilità e interesse dell'italiano all'assaggio degli insetti e al loro inserimento nella dieta. Gli insetti vengono considerati lontani dai gusti alimentari fondamentali e preoccupanti anche da un punto

¹⁰ <https://www.statista.com/outlook/cmo/food/meat/italy>.

¹¹ V. RUSSO ET AL. (2017): *Consumo reale di carne e di pesce in Italia*, F. Angeli Ed., Milano.

¹² M.C. MANCINI & F. ANTONIOLI (2022): *Italian consumers standing at the crossroads of alternative protein sources: cultivated meat, insect-based and novel plant-based foods*, «Meat Science», 193-108942.

di vista sanitario, per la possibile trasmissione di patogeni. Pressoché nulle sono le informazioni su aspetti nutrizionali e su tecniche di allevamento.

Nei confronti della “carne artificiale”, ottenuta in laboratorio a partire da cellule, il consumatore italiano è spesso influenzato da frammentarie notizie di mezzi di comunicazione e raramente possiede informazioni tecnico-scientifiche adeguate. L’atteggiamento emergente è sostanzialmente positivo per le esternalità di tipo ambientale, considerando la carne ottenuta in laboratorio con migliore impronta ambientale rispetto alla carne ottenuta da animali allevati. Il valore intrinseco del prodotto è considerato, anche se in assenza di prove comparative di assaggio, non comparabile con le caratteristiche sensoriali della carne propriamente detta. Poco o nulla si sa delle tecnologie di produzione in laboratorio. Forti perplessità vengono manifestate sui costi e quindi sull’accessibilità in futuro del prodotto.

QUALI SONO LE PRINCIPALI CRITICITÀ DEI PRODOTTI ALIMENTARI “ALTERNATIVI ALLA CARNE”?

Alimenti proteici di origine vegetale

Si ravvisa innanzitutto la necessità di un ulteriore sviluppo della tecnologia da applicare agli alimenti proteici di origine vegetale per renderli effettivamente “simili” alla carne. Vanno, per esempio, risolti i problemi di scarsa capacità di ritenzione idrica e di scarsa succulenza degli alimenti di origine vegetale, gli aromi non gradevoli dei derivati della soia, provenienti da varie molecole, quali saponine e isoflavoni¹³. Inoltre, vanno accuratamente indagati gli aspetti relativi alle potenziali allergenicità e intolleranza, dovute alla vasta inclusione di proteine di origine vegetale (soia, pisello, frumento, patata, fagioli, riso...), così come di altrettanto numerosi additivi impiegati per cercare di rendere il prodotto quanto più simile possibile alla carne. Gli alimenti proteici di origine vegetale possono presentare contaminazioni da micotossine responsabili di gravi patologie per il consumatore. In uno studio recente sono stati evidenziati su una serie di alimenti proteici di origine vegetale livelli critici di aflatossine, di ocratossina A e di alternariolo¹⁴. La criticità di esposizione a tali sostanze tossiche è da mettere in relazione sia alla concentrazione della singola micotossina

¹³ V.K. JOSHI & S. KUMAR (2015): *Meat analogues: plant based alternatives to meat products: a review*, «Int. J. Food Fermentation Technology», 5, pp. 107-109.

¹⁴ O.A. MIHALACHE ET AL. (2023): *Multi-mycotoxins determination in plant-based meat alternatives and exposure assessment*, «Food research international», 168, 112766.

presente nell'alimento, sia all'esposizione multipla a più micotossine. Ulteriori indagini devono essere rivolte a comprendere possibili evoluzioni chimiche di composti sensibili ai trattamenti termici, così come le possibilità di contaminazioni microbiologiche¹⁵. I processi tecnologici ai quali sono sottoposte le proteine vegetali (estrazione, purificazione, ricomposizione degli elementi strutturali) possono diminuirne il valore biologico e nutrizionale¹⁶.

Alimenti proteici derivanti da insetti

Il consumo di insetti può essere associato al rischio di trasmissione di agenti patogeni, a causa di insufficienti standard relativi alla sicurezza alimentare¹⁷. L'Unione Europea ha incluso gli insetti nel novero dei cosiddetti “Novel Food”, stabilendo una apposita regolamentazione. Tutti i nuovi prodotti alimentari, prima di essere immessi sul mercato, devono essere sottoposti ad approvazione da parte dell'EFSA (“European Food Safety Authority”)¹⁸.

Con il Regolamento 2283 del 2015 l'Unione Europea stabilisce, tra l'altro, che si debbano valutare i seguenti elementi:

- «se la sicurezza del nuovo alimento in esame è pari a quella degli alimenti che rientrano in una categoria comparabile già presente sul mercato dell'Unione»;
- «che la composizione del nuovo alimento e le condizioni d'uso non presentano un rischio di sicurezza per la salute umana nell'Unione»;
- «se un nuovo alimento destinato a sostituirne un altro non ne differisca in maniera tale da rendere il suo normale consumo svantaggioso per il consumatore sul piano nutrizionale».

Alimenti proteici derivanti da carne prodotta in laboratorio da cellule (“carne artificiale”)

La carne prodotta in laboratorio dovrebbe derivare da tecniche in grado di replicare perfettamente quello che accade in natura, compreso il ruolo del san-

¹⁵ L. SHA & Y.L. XIONG (2020): *Plant protein-based alternatives of reconstructed meat: science, technology, and challenges*, «Trends in food science & technology», 102, pp. 51-61.

¹⁶ D.J. McCLEMENTS, L. GROSSMANN (2021): *A brief review of the science behind the design of healthy and sustainable plant-based foods*, «Npj Science of food», 5 (1).

¹⁷ I. ISMAIL ET AL. (2020): *Meat analog as future food: a review*, «J. Anim. Sci. Technology», 62, pp. 11-120.

¹⁸ EU – Regulation 2015/2283 on Novel Foods.

gue nel trasporto di ossigeno e di numerosi nutrienti, così come l'interazione tessutale tra grasso, muscolo e connettivo. Tutto ciò risulta, allo stato attuale delle conoscenze, un obiettivo lontano da raggiungere¹⁹.

Nella tabella 1 vengono indicati in modo schematico i potenziali rischi connessi con la produzione di carne in laboratorio²⁰.

	TRASMISSIONI DI INFEZIONI (ZONOSI E ALTRO)	RESIDUI E SOTTOPRODOTTI	AGENTI STIMOLANTI	CONTAMINAZIONE BIOLOGICA
Selezione cellulare	*	*		*
Produzione	*	*	*	*
Raccolta		*	*	*
Trasformazione		*	*	*

Tab. 1 *Rischi potenziali nel processo di produzione della carne in laboratorio (FAO, 2022)*

Per prevenire la contaminazione da microrganismi durante le prime fasi di isolamento, selezione e conservazione delle linee cellulari, così come nelle prime fasi della proliferazione, è di solito previsto l'impiego di antibiotici. Per una perfetta conservazione delle linee cellulari vengono impiegate sostanze crio-protettive. Prima dell'inizio della fase della moltiplicazione vengono eseguiti trattamenti per eliminare le suddette molecole, al fine di evitare rischi di residui nel prodotto finale. Nonostante le fasi di sviluppo cellulare avvengano in un ambiente sterile, per ridurre al minimo i rischi possono essere impiegati antimicrobici consentiti, quali il sodio benzoato.

La fase di processazione del prodotto, al fine di renderlo “simile” alla carne, prevede l'aggiunta di ulteriori ingredienti e additivi, che possono causare allergie in soggetti sensibili. Inoltre, i trattamenti enzimatici e termici a cui è sottoposto il prodotto nelle fasi finali della lavorazione, possono causare fenomeni di ossidazione della componente organica e di degradazione biologica, con formazione di sottoprodotti indesiderabili.

Sulla base di quanto evidenziato dalla letteratura disponibile, la maggior parte dei potenziali rischi per la sicurezza alimentare derivanti dalla catena di produzione degli alimenti proteici derivanti da carne prodotta in laboratorio a partire da cellule è ampiamente conosciuta. Si tratta quindi di prevedere

¹⁹ R.E. SANTO ET AL. (2020): *Considering plant-based meat substitutes and cell-based meats: a public health and food systems perspectives*, «Frontiers in sustainable food system», 4, pp. 1-23.

²⁰ FAO (2022) Thinking about the future of food safety. A foresight report. <https://www.fao.org/3/cb8667en/>.

l'applicazione di rigorosi protocolli di analisi dei punti critici (HACCP) e di adottare strumenti avanzati di controllo e di mitigazione del rischio.

I PRODOTTI ALIMENTARI “ALTERNATIVI ALLA CARNE” POSSIEDONO PROPRIETÀ NUTRIZIONALI E SALUTISTICHE COMPARABILI O SUPERIORI ALLA CARNE?

Oltre a considerazioni sul valore intrinseco di un alimento, legato ad alcune componenti, la validità dovrebbe essere misurata anche nell'ambito della dieta nel quale è inserito, in relazione ai vari fattori che influenzano i fabbisogni nutrizionali (età, attività fisica...).

Gli alimenti proteici di origine vegetale vengono spesso pubblicizzati come un toccasana sul piano dietetico-salutistico, con notevoli vantaggi rispetto al consumo di carne. Nel sottolineare che ogni valutazione delle proprietà di un alimento dovrebbe scaturire da studi scientifici rigorosi e “indipendenti”, cioè non legati agli interessi commerciali, dovremmo considerare come tali alimenti entrano a far parte della dieta. Per esempio, se un burger vegetale viene consumato in un fast-food unitamente a patate fritte e a una bevanda zuccherina, risulta difficile arrivare alla conclusione che tale alimento possa produrre benefici sulla qualità generale della dieta²¹. Rimanendo nel campo degli alimenti proteici di origine vegetale, i numerosi e intensi processi di lavorazione del prodotto, allo scopo di renderlo “simile” alla carne, fanno inevitabilmente perdere alcuni dei nutrienti naturalmente presenti o aggiunti come additivi. Il valore biologico della proteina di alimenti di origine vegetale risulta inferiore rispetto a quello della carne, sia a causa di una minore digeribilità e biodisponibilità, sia causa di una scarsa presenza di amminoacidi essenziali e limitanti primari, quali la lisina e la metionina²².

Gli alimenti proteici derivanti da insetti hanno in generale un buon valore di composizione nutrizionale, legato sia alla qualità della proteina, sia alla composizione acidica del grasso. Sono riscontrabili variazioni di rilievo della composizione chimica e del valore nutrizionale, in relazione alla specie, allo stato di sviluppo, all'origine della dieta e ai diversi metodi di trattamento tecnologico delle farine di insetti²³.

²¹ F.B. HU ET AL. (2019): *Can plant-based meat alternatives be part of a healthy and sustainable diet?*, «Journal of American Medical Association», 16, pp. 1547-1548.

²² M.S. EDGE & J.L. GARRETT (2020): *The nutrition limitations of mimicking meat*, «Cereals Foods World», 65, n. 4.

²³ L. KOURIMSKA & A. ADAMKOVA (2016): *Nutritional and sensory quality of edible insects*, «NFS J», 4, pp. 22-26.

Il valore nutrizionale degli alimenti proteici derivanti da carne prodotta in laboratorio da cellule (“carne artificiale”) potrebbe sembrare, fermandoci a quanto dichiarato negli intenti, identico a quello della carne derivante da animali. L’analisi della letteratura scientifica, ancora piuttosto frammentaria, non permette tuttavia di confermare tale ipotesi. In mancanza del meccanismo omeostatico che si sviluppa nel sistema biologico animale, la carne “coltivata” differisce in vario modo dalla carne vera e propria²⁴. La composizione amminoacidica della carne prodotta in laboratorio a partire da cellule non è ancora ben conosciuta e può essere influenzata dai processi tecnologici adottati. Se è vero che la “carne artificiale” contiene rapporti migliori tra acidi grassi insaturi e saturi, poco si conosce sulla sua stabilità all’ossidazione. Inoltre, le cellule muscolari coltivate in laboratorio non sono in grado di sintetizzare sali minerali e vitamine²⁵.

I PRODOTTI ALIMENTARI “ALTERNATIVI ALLA CARNE” HANNO UNA SOSTENIBILITÀ AMBIENTALE MIGLIORE RISPETTO AI SISTEMI ZOOTECNICI DI PRODUZIONE DELLA CARNE?

La risposta a tale domanda risulta piuttosto difficile per due principali ordini di motivi:

- i dati riportati in letteratura sull’impronta ambientale della produzione di alimenti di origine animale sono spesso contrastanti, discutibili sulle metriche adottate, e non prendono in esame alcune esternalità positive, come successivamente precisato;
- i dati scientifici disponibili sull’impronta ambientale dei prodotti “alternativi alla carne” non tengono conto, nella maggior parte dei casi, dell’intero ciclo di produzione.

Le criticità dei dati solitamente riportati per la descrizione dell’impronta ambientale dei sistemi zootecnici sono relative ai seguenti principali elementi:

- nella stima del fabbisogno complessivo di acqua per la produzione di un kg di carne, o di altri prodotti di origine animale, si considera anche l’ac-

²⁴ R.K. MILLER (2020): *A 2020 synopsis of the cell-cultured animal industry*, «Animal Frontiers», 10, pp. 64-72.

²⁵ K BROUCKE ET AL. (2023): *Cultured meat and challenges ahead: a review on nutritional, technological and sensorial properties, safety and legislation*, «Meat Science», 195, 109006.

- qua piovana (“green water”), che altrimenti risulterebbe inutilizzata. Se si considera solo il fabbisogno idrico relativo ai prelievi da acquedotto o da pozzo (“blue water”) il fabbisogno idrico reale si riduce a circa un decimo;
- i dati relativi al consumo di suolo includono anche aree pascolive o simili, non utilizzabili per altri scopi (agricoli o di altra natura). Il pascolamento del bestiame in tali aree fornisce una serie di servizi ecosistemici, tra i quali un considerevole sequestro di carbonio;
 - i dati relativi all’emissione di gas serra equiparano il metano di origine biogenica, prodotto cioè dai ruminanti, al pari del metano di altra origine, trascurando che nel caso del metano derivante dalla ruminazione i tempi di emivita in atmosfera sono immensamente inferiori. Il calcolo della CO₂ totale prodotta risulta pertanto ampiamente erroneo per eccesso.

Gli alimenti proteici di origine vegetale presentano, sulla base degli studi disponibili, un’impronta ambientale migliore della carne derivante da allevamenti, ma peggiore rispetto sia agli alimenti proteici derivanti da insetti, sia agli alimenti proteici derivanti da carne prodotta in laboratorio²⁶. L’impronta ambientale complessiva varia in modo non trascurabile da alimento ad alimento, in funzione sia dei componenti di base, sia, e soprattutto, degli additivi impiegati e delle tecnologie adottate. Tuttavia, limitandoci alla fase primaria della produzione agricola, la coltivazione delle leguminose influisce positivamente sulla fissazione dell’azoto nel suolo e sulla biodiversità²⁷.

QUALI SONO LE PRINCIPALI DOMANDE DI RICERCA SUI PRODOTTI ALIMENTARI “ALTERNATIVI ALLA CARNE”?

La ricerca sui prodotti alimentari “alternativi alla carne” trattati nella presente relazione può essere considerata ai primi stadi e lascia aperte molte questioni. Si ravvisa l’urgenza di colmare i *gap* esistenti per fornire adeguati supporti al legislatore e al decisore politico. Si elencano di seguito le principali esigenze di ricerca per le principali aree di interesse.

²⁶ S. SMETANA ET AL. (2023): *Meat substitutes: resource demands and environmental footprints*, «Resources, conservation, & recycling», 190, 106831.

²⁷ R.E. SANTO ET AL. (2020): *Considering plant-based meat substitutes and cell-based meats: a public health and food systems perspectives*, «Frontiers in sustainable food systems», 4, pp. 1-23.

Sicurezza alimentare e salute pubblica

- Studi epidemiologici per verificare l’impatto del consumo di nuove fonti proteiche sulla qualità della dieta, su *biomarkers* metabolici, sul microbioma intestinale, rispetto al consumo di carne;
- Studi per verificare l’eventuale comparsa di allergie e/o di intolleranze alimentari;
- Metodi per verificare l’autenticità e la tracciabilità di quanto dichiarato in etichetta;
- Controlli per accertare la presenza di eventuali contaminanti o processi di alterazione di alcuni componenti che possono rappresentare rischi per il consumatore.

Sostenibilità ambientale

- Realizzazione di studi comprensivi di tutte le componenti del sistema produttivo, che mettano a confronto con le stesse metodologie e metriche diverse fonti proteiche;
- Analisi dell’impronta ambientale complessiva di ciascun prodotto

Aspetti economici e sociali

- Analisi dei costi in funzione delle tecniche produttive, della composizione dei prodotti e delle economie di scala;
- Analisi dei fattori sociali implicati nelle scelte di consumo;
- Esigenze di trasparenza, accessibilità e completezza delle informazioni relative ai prodotti;
- Identificazione di chiare e inequivocabili terminologie, eliminando la diffusa “ambiguità terminologica”;
- Previsioni di evoluzione della domanda e di disponibilità future sia di carne, sia di alimenti alternativi.

Tipologie di prodotto e caratteristiche

- Ricerca di nuovi alimenti proteici
- Analisi sensoriali degli alimenti proteici di varia origine

La sicurezza alimentare

Paolo Fantozzi

Presidente Comitato Consultivo per le Tecnologie Alimentari

In Italia si parla spesso, nei giornali, in televisione e nei “social” genericamente di sicurezza alimentare, purtroppo non conoscendo esattamente il significato reale della locuzione e quindi utilizzandolo talvolta fuori luogo.

Infatti la lingua inglese permette di distinguere e separare, nella gestione degli alimenti, due concetti fondamentali: Food Safety e Food Security.

Nella lingua italiana, invece, tale concetto, legato al “consumo di cibo sano e igienicamente controllato” (Food Safety), è molte volte e purtroppo confuso con il termine “certezza nella disponibilità di alimenti” (Food Security) cioè la disponibilità di cibo in un Paese (o in un’area geografica) e la capacità degli individui all’interno di quel Paese di accedere, permettersi e procurarsi prodotti alimentari adeguati. I due termini possono essere sicuramente considerati come le facce della stessa medaglia indicando, rispettivamente, la sicurezza economico-sociale di disporre di cibo a sufficienza per vivere (Food Security) e l’esigenza igienico-sanitaria di consumare cibo sano e acqua potabile (Food Safety).

In questa review, che può essere considerata come un personale “vademecum” o una guida per il lettore, abbiamo voluto elencare in sequenza tutte le normative e le procedure che sono oggi in atto per tutelare la salute del consumatore, sia a livello nazionale che comunitario.

La legislazione vigente dell’Unione riguarda l’intera filiera alimentare, «dal produttore al consumatore» (from farm to fork) in modo integrato e applicando il così detto approccio «One Health» che riconosce la reale esistenza di una interconnessione tra la salute umana, la salute animale e l’ambiente.

A tal fine è stata appositamente aggiunta in calce all’articolo una numerosa bibliografia ufficiale di riferimento utile per permettere al lettore l’approfondimento di ogni singolo settore della normativa.

La rassegna parte dalla Politica alimentare europea (A), che ha dato origine, negli anni, alla normativa di sicurezza alimentare vigente (B). Tratta poi l'attuazione della formazione del personale addetto (C), mettendo in evidenza i meccanismi di valutazione degli Enti di controllo dei rischi sulla sicurezza al livello europeo (EFSA) (D) e delle istituzioni nazionali (E). Si passa poi ad analizzare le attività specifiche che coinvolgono le aziende della produzione e trasformazione degli alimenti (F), chiudendo infine la rassegna con le recenti attività del nostro Comitato Consultivo di Tecnologie Alimentari sul tema del FOCUS (G).

A. LA POLITICA DI SICUREZZA ALIMENTARE DELL'UE (1)

Le azioni che ne derivano si concentrano su 4 settori principali:

- Igiene degli alimenti: le imprese del settore alimentare, dagli allevamenti ai ristoranti, devono rispettare la legislazione alimentare dell'UE, anche quando importano prodotti alimentari nell'UE.
- Salute degli animali: controlli e misure sanitarie per gli animali da compagnia, gli animali da allevamento e la flora e la fauna selvatiche monitorano e gestiscono le malattie, e consentono di seguire i movimenti di tutti gli animali di allevamento.
- Salute delle piante: individuare ed eradicare gli organismi nocivi in una fase precoce ne impedisce la diffusione e garantisce sementi sane.
- Contaminanti e residui: il monitoraggio tiene i contaminanti lontani da alimenti e mangimi. Si applicano limiti massimi di accettabilità ai prodotti alimentari e ai mangimi nazionali e importati.

B. LA LEGISLAZIONE DELL'UE IN MATERIA DI SICUREZZA ALIMENTARE (2)

La politica di sicurezza alimentare dell'Unione europea (Unione) è principalmente disciplinata dagli articoli 168 (salute pubblica) e 169 (protezione dei consumatori) del trattato sul funzionamento dell'Unione europea (3).

La politica di sicurezza alimentare dell'Unione mira a proteggere i consumatori, garantendo allo stesso tempo il regolare funzionamento del mercato unico (4).

Detta legislazione si occupa degli aspetti di sicurezza della produzione primaria, delle condizioni igieniche nella trasformazione alimentare, nell'imballaggio, nell'etichettatura e dei controlli ufficiali sulla conformità alla sicurezza alimentare.

L'Unione ha concordato determinate norme per garantire l'igiene degli alimenti, la salute e il benessere degli animali, la salute delle piante e il controllo

della contaminazione da sostanze esterne, quali i pesticidi. Ogni fase è soggetta a controlli rigorosi, e i prodotti importati da Paesi terzi (ad esempio, la carne) devono rispettare le stesse norme e sottoporsi agli stessi controlli degli alimenti prodotti all'interno dell'Unione.

Proteggere la salute è l'obiettivo di tutte le leggi e norme dell'UE nei settori dell'agricoltura, della zootecnia e della produzione di alimenti. Un ampio corpus di norme a livello dell'UE disciplina l'intera catena di produzione e trasformazione alimentare all'interno dell'Unione Europea, ma anche quella relativa alle merci importate ed esportate.

I Paesi dell'UE attuano queste norme armonizzate e stabiliscono controlli per farle rispettare. L'UE verifica l'applicazione e l'efficacia delle leggi e dei controlli, e fornisce anche la formazione necessaria ai responsabili dell'UE e alle autorità internazionali.

C. FORMAZIONE IN MATERIA DI LEGISLAZIONE ALIMENTARE DELL'UE, NORME E REGOLE (5)

La "Better Training for Safer Food (BTFS)" è un'iniziativa di formazione della Commissione europea volta a migliorare la conoscenza e l'attuazione delle norme dell'UE in materia di sicurezza alimentare, piante, animali e One Health. I principali obiettivi sono:

- Mantenere un elevato livello di protezione dei consumatori e di sicurezza alimentare, vegetali, animali e "One Health".
- Promuovere un approccio armonizzato al funzionamento dei sistemi di controllo nazionali e dell'Unione.
- Creare condizioni di parità per tutti gli operatori del settore alimentare.
- Promuovere gli scambi di alimenti, animali e piante sicuri e dei loro prodotti.
- Garantire un commercio equo con i Paesi terzi e in particolare con i Paesi in via di sviluppo.

I principi di formazione di base prevedono la fornitura di informazioni, la condivisione di conoscenze/esperienze e la creazione di reti e l'utilizzo dell'approccio della formazione dei formatori per diffondere le conoscenze acquisite. L'erogazione della formazione può avvenire attraverso corsi in presenza, aule virtuali o E-Learning o una combinazione di questi.

È bene ricordare che la formazione è destinata al personale delle autorità competenti degli Stati membri coinvolti nelle attività di controllo ufficiale (e

non ai singoli soggetti interessati – produttori, consumatori, ecc. –) al fine di tenerlo aggiornato su tutti gli aspetti del diritto dell’Unione nei settori sopra specificati e di garantire che i controlli siano effettuati in modo uniforme, obiettivo e soddisfacente.

La BTSF è solitamente organizzata da contraenti esterni che progettano e realizzano i corsi avvalendosi di esperti in materia in stretta collaborazione con le unità tecniche della DG Salute e sicurezza alimentare e li realizzano attraverso:

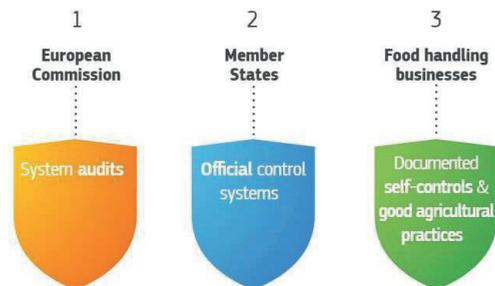
- **Seminari.** Un gruppo di partecipanti (di solito non più di 30) provenienti da diversi Paesi si riunisce in un’unica sede per ricevere formazione e partecipare a esercizi pratici e discussioni di gruppo.
- **Missioni di formazione prolungata (STM).** Un gruppo di partecipanti (10-15) provenienti da uno o da un raggruppamento regionale di Paesi riceve una formazione su una materia specifica impartita da uno o due esperti in materia.
- **E-Learning in BTSF ACADEMY.** Le persone partecipano all’apprendimento online in proprio, comprese le esercitazioni di autovalutazione durante tutto il corso. Attualmente vi sono 14 corsi di E-Learning, di cui altri 3 sono in fase di sviluppo.

D. L’AUTORITÀ EUROPEA PER LA SICUREZZA ALIMENTARE (EFSA) (6)

L’EFSA fornisce consulenze scientifiche indipendenti e valutazione dei rischi che confluiscono nelle norme di sicurezza alimentare dell’UE.

Per maggiori informazioni sui sistemi di controllo EU si consiglia di prendere visione della Guida “Ensuring Food is Safe” (7), che descrive in dettaglio l’intero sistema di controllo degli alimenti all’interno della EU, come qui sotto riportato:

THREE LAYERS OF CONTROLS



In questo FOCUS verranno focalizzate le attività che investono le aziende coinvolte nella produzione e trasformazione degli alimenti nel livello (Layer) n. 3 (Food Handling Business).

E. IL SISTEMA DI CONTROLLO ISTITUZIONALE

A ulteriore tutela del consumatore, negli Stati Membri EU operano diversi sistemi di controllo istituzionali, con il compito di prevenire e, se del caso, reprimere possibili frodi alimentari (alterazioni, contraffazioni, sofisticazioni e adulterazioni). In Italia tale compito è affidato specificatamente alle seguenti Entità:

- Ispettorato Centrale Repressioni Frodi (ICQRF) del Ministero dell'Agricoltura della Sovranità Alimentare e delle Foreste (8)
- Nuclei Anti - Sofisticazione e sanità (N.A.S.) dei Carabinieri del Ministero della Sanità e ASL territorialmente competente (9)

Essi effettuano controlli per verificare che siano rispettate le norme igienico-sanitarie nazionali ed europee nel settore alimentare. Tali norme possono variare in base alla tipologia di attività da controllare, come azienda alimentare, azienda agricola, ristorante, mensa, negozio di alimentare. Le Aziende interessate ai controlli sono indicate all'interno del nuovo Decreto Legislativo 18/2023 (10). L'Allegato VIII articolo 2 del suddetto DL 18/2023 elenca alcuni esempi, non esaustivi, cioè:

- Strutture socio-sanitarie e anche socio assistenziali in regime di ricovero
- Strutture sanitarie, socio-sanitarie e socio-assistenziali non in regime di ricovero, inclusi centri riabilitativi, ambulatoriali e anche odontoiatrici
- Strutture ricettive alberghiere, istituti penitenziari, navi, stazioni e anche aeroporti
- Ristorazione pubblica e collettiva, nonché mense aziendali e scolastiche
- Caserme, istituti di istruzione con strutture sportive, campeggi, palestre, centri di sport fitness e benessere e infine strutture a uso collettivo (stabilimenti balneari, ecc.)

Sono qui di seguito elencati per comodità i controlli più importanti che vengono effettuati in Italia sui negozi alimentari, stando a quanto previsto dalle attuali normative in vigore:

- Corretta etichettatura degli alimenti;

- Corretta gestione dei MOCA (Materiali ed Oggetti a Contatto con gli Alimenti);
- Assenza di roditori e insetti;
- Requisiti strutturali a norma (da superfici lavabili, a servizi igienici, grandezze/altezze, ecc);
- Requisiti documentali e di autorizzazione (SCIA, autorizzazioni varie, REC, manuale Hazard Analysis and Critical Control Point [HACCP]);
- Presenza del manuale di autocontrollo aggiornato e correttamente compilato;
- Manutenzione dei locali, degli impianti e delle attrezzature;
- Procedura di sanificazione;
- Verifica di formazione e igiene del personale;
- Gestione dei rifiuti e delle acque reflue;
- Corretta taratura degli strumenti di misurazione;
- Pulizia e ordine dei locali; igiene di superfici e attrezzature da lavoro;
- Buona conservazione e lavorazione degli alimenti;

Visti questi aspetti di normativa generale, vediamo adesso come la normativa vigente deve essere applicata ad alcuni alimenti particolari.

Tralasciamo, per sola facilità d'uso, quei prodotti alimentari di diretta utilizzazione (ad esempio tutti i tipi di verdure di frutta fresca acquistati direttamente in azienda e quindi al di fuori delle catene commerciali), per le quali valgono per i coltivatori/produttori il rispetto delle regole comunitarie di una corretta coltivazione e delle norme di controllo igienico e fitosanitario e per il consumatore finale l'applicazione in cucina delle regole familiari dei lavaggi, di pulizia e dei tempi di conservazione prima dell'utilizzazione.

Seguiremo il percorso di due tipologie di alimenti di largo consumo che vengono gestiti non solo dal consumatore finale ma dall'agricoltore prima e successivamente dalla piccola e grande distribuzione:

Le verdure confezionate e refrigerate e i prodotti carnei porzionati e refrigerati

Per ambedue le tipologie, l'agricoltore in primis è tenuto al rispetto delle Buone Pratiche Agricole aziendali (BPA) (11). Le Buone Pratiche Agricole, individuate al comma 1 dell'art. 28 del Reg. CE 1750/99 sono «l'insieme dei metodi colturali che un agricoltore diligente impiegherebbe in una regione interessata».

Le "Buone Pratiche Agricole" sono state individuate per gruppi omogenei di colture, aggregate in base alla stretta analogia che contraddistingue le pratiche agronomiche usualmente effettuate su tali coltivazioni nonché il fabbisog-

gno di fattori produttivi e dei mezzi tecnici necessari per le stesse. Le colture individuate sono quelle maggiormente rappresentative.

E1. Norme di riferimento

- Le pratiche di fertilizzazione e di diserbo, di cui si fa obbligo in questo codice, trovano riscontro normativo nel D.Lgs. n. 152 dell'11 maggio 1999, recante "Disposizioni sulla tutela delle acque dall'inquinamento provocato da nitrati provenienti da fonti agricole".
- La protezione delle acque dai nitrati trova il suo supporto normativo nella direttiva 91/676/CEE (D.M. MiPA del 19 aprile 1999).
- Per quanto attiene la gestione dei rifiuti si fa riferimento alla D. Legislativo n. 22 del 5/02/97 e successive modifiche e integrazioni (direttive 91/156/CE, 91/689/CE e 94/62/CE).
- L'impiego dei fanghi di depurazione in agricoltura è normato dal D.Lgs. del 27 gennaio 1992, n.99, che dà attuazione alla direttiva 86/278/CEE.
- In riferimento alle norme concernenti i limiti massimi di residui antiparassitari sui prodotti vegetali, andrà rispettato quanto riportato nelle direttive 90/642/CEE, 97/71/CE, 98/82/CE.
- Per la difesa fitosanitaria si è fatto riferimento a quanto già in uso nei programmi integrati adottati dagli Osservatori per le malattie delle piante e a quanto già in attuazione per la misura A1 del regolamento CEE 2078/92.
- L'acquisto e l'impiego dei prodotti fitosanitari avverranno nel rispetto del DPR 1255/68 e successive modifiche, del DM Sanità del 22/01/98, in attuazione della direttiva 91/414/CEE e successive modificazioni.
- Per l'utilizzo di sostanze ad azione ormonica nelle produzioni animali si rimanda alla Dir. 96/22/CE e al DLgs. 336/99.
- In riferimento alla salvaguardia degli uccelli selvatici: Legge n. 127 dell'11/02/1992 e al DPCM del 27/09/97 in attuazione della direttiva 79/409/CEE.
- Per quanto riguarda la conservazione degli habitat naturali e seminaturali, nonché della flora e della fauna selvatica (natura 2000), si farà riferimento al DPR n. 357 dell'8/09/97 in attuazione della direttiva 92/43/CE.

E2. Gruppi di colture

Ogni azienda individuerà tutti i gruppi omogenei di colture presenti e prenderà in considerazione le principali operazioni colturali inerenti la tecnica

agronomica utilizzata per la loro coltivazione Olivo, Vite, Cereali, Foraggiere, Piante orticole, ecc.

Nelle zone individuate come vulnerabili ai sensi della direttiva CEE/676/91 il programma d'azione previsto dall'allegato III e le misure vincolanti del Codice di Buona Pratica Agricola per i nitrati di origine zootecnica, sempre ai sensi della direttiva citata, costituiranno, per tali materie, la normale buona pratica agricola.

E3. Avvicendamenti colturali

La pratica dell'avvicendamento tra colture erbacee è un elemento centrale nell'ambito dell'ordinamento produttivo dell'azienda che segue la BPA. Gli effetti legati a questa pratica agronomica permettono di conservare un adeguato livello di fertilità dei terreni, di limitare lo sviluppo di pericolose fisio-patie, di contenere l'erosione dei terreni. Sulla base di questa affermazione la BPA ammette una monosuccessione per non più di 2 anni solo per i cereali. Non potranno invece succedere a se stesse le seguenti colture: bietola, aglio, asparago, carota, carciofo, cardo, cetriolo, cocomero, melone, zucca, cavolfiore, insalate, fagiolo, pomodoro, ecc. Sulla base di questo principio, il tipo di avvicendamento sarà stabilito a seconda delle caratteristiche aziendali, alternando sullo stesso terreno piante depauperanti (frumento, orzo, avena) con colture miglioratrici (prati di graminacee, prati di leguminose, leguminose) o da rinnovo (bietola, patata, pomodoro, fava, fagiolo).

E4. Difesa fitosanitaria

Tutti gli operatori agricoli che accedono agli aiuti previsti per le misure agro-ambientali del Piano di Sviluppo Rurale (PSR) hanno l'obbligo di far controllare e tarare le macchine irroratrici per la difesa fitosanitaria almeno una volta durante il quinquennio di impegno. Tali attività avverranno presso il Servizio di controllo e taratura delle Regioni.

E5. Allevamenti e carico del bestiame

Il ruolo dell'allevatore è a tutti gli effetti quello di "operatore del settore alimentare" (OSA). Anche se, per l'allevamento, la normativa europea non impone lo sviluppo e l'applicazione di un piano HACCP (piano basato sull'a-

nalisi del rischio e l'identificazione e il monitoraggio continuo di punti critici di controllo) la figura dell'allevatore è fortemente responsabilizzata e tutto ciò che avviene all'interno dell'azienda deve essere sempre facilmente controllabile e gestibile, soprattutto in caso di problematiche con possibili effetti sulla salute dei consumatori.

L'Europa consiglia (ma non obbliga) gli allevatori a svolgere la propria attività seguendo un manuale di buone pratiche con finalità di miglioramento sanitario. L'applicazione corretta delle buone pratiche non annulla (impossibile ottenere condizioni di rischio pari a zero) ma sicuramente minimizza tutti i rischi che potrebbero svilupparsi da una gestione poco corretta e programmata dell'allevamento. I manuali possono essere sviluppati dall'allevatore stesso, dalle associazioni di categoria o da personale veterinario/tecnico a conoscenza delle principali problematiche e criticità che una certa tipologia di allevamento può presentare.

Per non incorrere nel rischio di eccessivo apporto azotato ai terreni, il carico di bestiame che ciascuna superficie può sopportare deve essere definito considerando i quantitativi di deiezioni che ogni specie animale produce nel corso dell'anno e la percentuale di azoto che dette deiezioni contengono.

Per ambedue le tipologie di prodotti (vegetali e animali), al momento del prelievo/acquisto iniziale in Azienda agraria, il trasformatore è tenuto al rispetto in primis delle regole sopraricordate per i prodotti di diretta utilizzazione. Nel momento dell'uscita dalla azienda produttrice, si instaura da parte dell'acquirente trasformatore e/o distributore l'obbligo di applicare un sistema di autocontrollo igienico sanitario. Esso dovrà garantire nel tempo la genuinità e la salubrità del prodotto, per tutta la durata della sua presenza nell'azienda trasformatrice, fino al trasferimento presso i pubblici esercizi adibiti alla vendita al consumatore (supermercati, ristoranti, ecc). Quest'ultimi ne avranno la responsabilità fino al momento dell'acquisto da parte dell'utilizzatore finale.

Quando l'Azienda di trasformazione trasferisce, vendendo i propri prodotti trasformati a pubblici esercizi quali i ristoranti, i supermercati, le macellerie, le pasticcerie, ecc., questi ultimi automaticamente ereditano gli obblighi che erano a carico dei trasformatori e sono tenuti a osservarli fino al momento della vendita al consumatore finale.

La trasformazione dei prodotti di origine animale o vegetale in alimenti finiti deve osservare, in aggiunta ai criteri di buona pratica aziendale, le regole definite dal Regolamento CE 852/04 che stabilisce criteri generali per la conservazione degli alimenti, quali:

- «Le materie prime e tutti gli ingredienti immagazzinati in un'impresa alimentare devono essere opportunamente conservati in modo da evitare un deterioramento nocivo e la contaminazione»;

- «In tutte le fasi di produzione, trasformazione e distribuzione gli alimenti devono essere protetti da qualsiasi forma di contaminazione atta a renderli inadatti al consumo umano, nocivi per la salute o contaminati in modo tale da non poter essere ragionevolmente consumati in tali condizioni»;
- «Le materie prime, gli ingredienti, i prodotti intermedi e quelli finiti, in grado di consentire la crescita di microrganismi patogeni o la formazione di tossine non devono essere conservati a temperature che potrebbero comportare rischi per la salute. La catena del freddo non deve essere interrotta».
- Gli stabilimenti per la fabbricazione, la manipolazione e il condizionamento di alimenti trasformati devono disporre di locali adeguati, sufficientemente ampi per consentire il magazzinaggio separato delle materie prime e dei prodotti trasformati e di uno spazio refrigerato separato sufficiente.

Si tratta dunque di criteri e regole che non descrivono le modalità specifiche per una corretta conservazione; piuttosto ne stabiliscono principi generali ed obiettivi.

Per questo è quindi necessario individuare e applicare norme definite da un piano interno aziendale di HACCP (Hazard Analysis and Critical Control Points).

Esso è un metodo di controllo interno all'azienda che, attraverso l'individuazione di specifici rischi e punti critici di controllo, mira a tutelare la salubrità dell'alimento e la salute del consumatore e, contemporaneamente, l'azienda, sottoposta a controlli dalle Forze dell'Ordine.

In Europa il manuale HACCP è obbligatorio fin dal 1993 ai sensi della *Direttiva 43/93/CEE*, recepita in Italia con il D.Lgs numero 155 del 26/05/97 (12). Il Piano di Autocontrollo HACCP è un insieme di documenti che dettano le linee guida per garantire sicurezza e igiene alimentare salvaguardando la salubrità del prodotto e la salute del consumatore.

Esso si compone di due elementi strettamente correlati tra loro:

- Il Manuale HACCP (13) (14) che contiene le direttive per l'Autocontrollo per l'azienda specifica
- Le Schede HACCP (15) la cui compilazione periodica consente di mettere in atto l'Autocontrollo

F. UN ESEMPIO PARTICOLARE LEGATO AL FOOD SAFETY

In conclusione, crediamo sia utile e interessante parlare di un locale/ambiente, fondamentale per garantire la salubrità degli alimenti e sempre presente nella

ristorazione pubblica e privata ed, ovviamente, all'interno di ogni famiglia: **la cucina**.

Vediamo quanti siano i requisiti, le norme che sono richieste e che dovrebbero sempre essere applicate nella ristorazione collettiva, ma dovrebbero essere tenute a mente e applicate anche a livello familiare (16).

Forma e dimensioni

Innanzitutto, deve essere dotata di due ingressi per consentire facilmente il passaggio delle merci che provengono dall'esterno. La forma deve essere regolare, cioè quadrata o rettangolare. In questo modo non ci saranno angoli stretti e difficili da pulire e la distribuzione dei pasti sarà molto più semplice.

La dimensione, invece, dipende dal numero dei coperti. Pertanto, se il locale ha a disposizione:

- 30 posti a sedere: la cucina dovrà essere di almeno 15 mq, inclusa la zona adibita a lavaggio;
- 100 posti a sedere: la cucina dovrà essere di almeno 30 mq;
- più di 100 posti a sedere: la dimensione della cucina dovrà essere di almeno 40 mq (oltre alla zona lavaggio).

Tuttavia, si consiglia di chiedere informazione all'ASL territorialmente competente, in quanto in alcuni casi la normativa prevede una diversa metratura. Quanto alle pizzerie, invece, la cucina deve avere una dimensione minima di 12 mq (escluso il forno utilizzato per le pizze).

Altezza e superfici della cucina

Se i cuochi e gli altri addetti sono più di cinque, l'altezza minima della cucina deve essere di circa 3 metri, a eccezione dei ristoranti ubicati in strutture particolari (come, ad esempio, in un edificio storico) per i quali occorre consultare sempre i regolamenti comunali.

Le pareti e la pavimentazione devono essere di colore bianco o molto chiaro, facilmente lavabili e disinfettabili, mentre i piani di lavoro devono essere in acciaio inox o in ceramica.

Per evitare rischi di contaminazione dei cibi e garantire la salute dei clienti è bene dividere i settori di lavorazione, ad esempio le carni e le verdure richiedono spazi e stoviglie separati e una frequente sanificazione degli utensili.

Infine, in base alla dimensione del locale è necessario dotarsi di un sistema aerazione e di illuminazione efficienti.

Connessi alla cucina ci sono poi i seguenti locali:

- una dispensa: ossia un locale dove si trovano frigoriferi e freezer che deve essere accessibile anche dall'esterno;
- un magazzino: vale a dire il deposito dove vanno posizionati tutti i prodotti che non vanno conservati al freddo (bevande incluse);
- il lavaggio: il locale (o lo spazio, se interno alla cucina) dedicato al lavaggio e alle eventuali lavastoviglie;
- lo spogliatoio: la stanza a disposizione del personale per il cambio degli indumenti, per usufruire di servizi igienici e per riporre i dispositivi non ammessi in cucina.

L'abbigliamento e la cura della persona in cucina

Altro aspetto fondamentale quando si parla di igiene alimentare è quello dell'abbigliamento da lavoro che deve essere specifico, di colore chiaro e sempre pulito. Ad esempio, è indispensabile indossare sempre il copricapo per contenere la capigliatura anche se i capelli sono pochi o rasati a zero.

Pertanto, le regole da osservare in materia di abbigliamento da lavoro sono le seguenti:

- indossare sempre gli indumenti adatti alla tipologia di lavoro facilmente lavabili ad alte temperature;
- la divisa e il copricapo devono essere puliti, di colore chiaro, dotati di chiusure con bottoni automatici e privi di tasche;
- per recarsi all'esterno del locale è necessario rimuovere gli abiti da lavoro;
- garantire corrette modalità di lavaggio di alimenti e utensili;
- utilizzare sempre un copricapo in grado di contenere tutta la capigliatura, forfora, gocce di sudore, ecc.;
- laddove previsto, usare i guanti monouso (in caso di ferite sulle mani o in caso di manipolazione cibi pronti al consumo) da sostituire immediatamente in caso di rottura;
- usare il vestiario protettivo (cuffie e copriscarpe usa e getta) quando necessario.

Quanto all'igiene personale, invece, ogni addetto alla manipolazione e somministrazione degli alimenti deve:

- tenere le unghie corte, pulite e senza smalto;
- tenere capelli, baffi e barba sempre in ordine;

- non indossare gioielli, anelli, bracciali;
- utilizzare bende, cerotti impermeabili e guanti monouso in caso di ferite sulle mani;
- evitare di starnutire o tossire sugli alimenti;
- parlare solo quando si è a debita distanza da cibo;
- evitare di toccarsi naso, bocca, orecchie durante il lavoro;
- evitare di consumare cibi e bevande;
- evitare di fumare;
- lavarsi spesso le mani con sapone monouso e acqua calda prima di iniziare a lavorare e di toccare gli alimenti, ogni volta che si manipoli di cibi diversi, dopo aver mangiato, dopo aver starnutito, dopo aver usato i servizi igienici, ecc.

La conservazione degli alimenti in cucina

Gli addetti nel settore alimentare devono anche curare la corretta conservazione dei cibi. Per tale ragione è indispensabile avere almeno quattro diversi frigoriferi così suddivisi:

- uno per il cibo liquido o solido che ha passato un ciclo di cottura, per piatti pronti o semilavorati;
- uno per materie prime di carne e pesce (quando possibile, tuttavia, tali alimenti devono essere separati);
- uno per la frutta e la verdura;
- uno per latte, latticini, salumi e uova.

Naturalmente l'impianto di refrigerazione deve essere sottoposto a regolare controllo per la valutazione della temperatura, secondo quanto previsto dalle linee guida del sistema HACCP.

Invece, gli alimenti surgelati o congelati possono essere anche contenuti in un unico freezer, a condizione che:

- siano confezionati e ben protetti;
- si effettui una pulizia periodica finalizzata a rimuovere il ghiaccio in eccesso ed eventuali residui di cibo.

Infine, è importante:

- proteggere gli alimenti dalla polvere e dagli insetti;

- usare attrezzature sempre pulite;
- lavare e disinfettare in continuazione;
- controllare lo stato degli alimenti quando vengono consegnati.

Il rischio della contaminazione degli alimenti

Tutte le misure viste poc'anzi vengono adottate per evitare il rischio di contaminazione che si verifica nel momento in cui si riscontra la presenza di sostanze tossiche negli alimenti. È facile comprendere che si tratta di una tipologia di rischio estremamente pericolosa per la salute umana in quanto potrebbe causare un'intossicazione, un avvelenamento, una malattia infettiva (come l'epatite A) oppure addirittura la morte. Ad esempio, la contaminazione può avvenire quando si mescolano insieme alimenti crudi e cotti oppure attraverso un mezzo che può essere rappresentato da un utensile da cucina, una superficie, dalle mani, dagli indumenti, ecc.

Il rischio della contaminazione, quindi, riguarda soprattutto gli esercizi che operano nelle diverse fasi del settore alimentare (dalla preparazione dei cibi alla somministrazione del prodotto al consumatore finale) e può essere di tipo fisico (per la presenza di corpi estranei, come ad esempio una scheggia o un frammento di vetro), chimico (ad esempio a causa di sostanze non idonee all'imballaggio oppure per la presenza di pesticidi) o biologico (dovuto a batteri, virus e parassiti).

G. LE ATTIVITÀ DEL COMITATO CONSULTIVO PER LE TECNOLOGIE ALIMENTARI DELL'ACCADEMIA DEI GEORGOFILI COLLEGATE AL FOOD SAFETY

Il Comitato Consultivo ha voluto inserire e ribadire tra le sue numerose attività 5 differenti eventi che presentavano, al loro interno e talvolta come “linea nascosta” ma portante, questa problematica.

Gli eventi realizzati sono dunque stati:

28 marzo 2022: “Etichettatura fronte pacco degli alimenti” (17)

Il documento legato alla etichettatura è stato elaborato da un apposito gruppo di lavoro formato dagli accademici Paolo De Castro, Paolo Fantozzi, Andrea Ghiselli, Michele Pasca-Raymondo, Marcello Ticca.

In Europa sono stati proposti nel tempo vari sistemi volontari di etichettatura fronte pacco, dal keyhole scandinavo al nutrinform italiano, ai semafori anglosassoni, al Nutri-score francese.

Nonostante la condivisibile intenzione di indirizzare il consumatore verso alimenti migliori, in realtà essi talvolta risultano essere sistemi poco utili e a volte ingannevoli. Inoltre, un'etichetta fronte pacco non può certamente sostituirsi al compito educativo demandato alle istituzioni, ma deve affiancarlo e implementarlo fornendo le necessarie informazioni per la scelta, con particolare attenzione alla salute (food safety) del consumatore.

Per realizzare gli obiettivi di lotta al sovrappeso e alle malattie metaboliche l'Unione deve mettere in campo non solo un approccio meramente regolamentare nell'ambito di una sola politica ma fare leva sull'insieme delle politiche concorrenti (sanità, istruzione, industria, mercato interno, agricoltura, protezione dei consumatori e commercio internazionale).

23 marzo 2023: "Pizza napoletana tra tradizione e innovazione" (18)

Il convegno, coordinato dagli accademici Masi e Moresi, ha messo in evidenza come le conoscenze scientifiche alla base della produzione della pizza sono tuttora limitate. Sono state esaminate in maniera sistematica tutti i fenomeni legati alla produzione dei panetti, alla lievitazione, alla cottura della pizza in forno a legna, alla sua digestione e al suo impatto ambientale, nonché di introdurre potenziali innovazioni sulla formulazione degli ingredienti, sulla conservazione e sulle tecniche di asporto. In particolare, come può avvenire in tutti i sistemi di cottura di alimenti in presenza di fiamma viva, sono state individuate le caratteristiche termiche ottimali di cottura al fine di prevenire la formazione di sostanze a rischio per la salute (food safety) del consumatore, come ad esempio la acrilammide.

3 ottobre 2023: "Alimenti a base di cereali: pericolosi o benefici?" (19)

Il convegno, coordinato dagli accademici Carcea e Marconi ha affrontato le problematiche di alcuni cereali come il pane, pasta, prodotti da forno, snacks e prodotti dolciari. Essi assorbono la produzione cerealicola nazionale, vengono prodotti sia a livello artigianale che industriale e vengono consumati giornalmente dalla popolazione italiana per la quale rappresentano, come nel caso della pasta, anche una identità culturale. La pasta viene anche esportata in tutto il mondo. Alcuni di questi prodotti hanno dei riconoscimenti (denominazioni di origine) a livello europeo e vengono considerati eccellenze alimentari. Negli ultimi anni, e anche recentemente, i consumatori hanno cominciato a ricevere informazioni, attraverso trasmissioni televisive sui canali nazionali, trasmissioni radiofoniche e riviste, che hanno suscitato dubbi sulla genuinità di questi prodotti e sull'opportunità del loro consumo in una dieta sana ed equilibrata avanzando anche ipotesi di rischi per la salute (food safety). Argomenti come glifosato, micotossine, molecole glicate (furosina),

acrilammide, frumenti antichi contrapposti ai frumenti moderni, macinazione a pietra verso macinazione a cilindri compaiono sui media associati agli alimenti a base di cereali e creano allarmismo nella popolazione e nell'industria alimentare italiana. Il workshop ha voluto contribuire a un serio dibattito scientifico sulle tematiche precedentemente menzionate attraverso il coinvolgimento di colleghi esperti e avvalendosi della collaborazione dell'Associazione Italiana di Scienza e Tecnologia dei Cereali. Tale associazione, fondata nel 1995, annovera tra i suoi associati ricercatori e studiosi di cereali e derivati ed ha intrapreso un percorso di contrasto alle fake news e di diffusione della conoscenza scientifica supportata da solide evidenze.

9 novembre 2023: “Innovazione per la sostenibilità nei processi di vinificazione” (20)

La giornata di studio coordinata dall'accademico Gerbi e nata in collaborazione con l'Accademia della Vite e del Vino e il Cluster Agrifood Nazionale, ha approfondito l'argomento legato alla sostenibilità nei processi di produzione degli alimenti e delle bevande. Tale tematica è ampiamente discussa in ambito scientifico e tecnico, ma l'urgenza di fornire risposte immediate ai consumatori porta le aziende a cercare soluzioni facilmente comunicabili, quindi sfruttabili ai fini commerciali, ma non sempre razionali e basate su una corretta e completa revisione del processo produttivo.

L'Italia è ancora il primo Paese produttore di vino al mondo e una attenta analisi del contributo alla sostenibilità che può derivare da una revisione critica dei processi di vinificazione è necessaria e di grande attualità. Il risparmio in termini di CO₂ emessa, la razionalizzazione del consumo di acqua, il riuso in termini circolari dei sottoprodotti sono i capitoli principali di una strategia della sostenibilità in cantina, la cui attenta analisi potrebbe portare ad adottare innovazioni fondamentali nelle varie operazioni unitarie. Si pone quindi all'attenzione del mondo enologico un concetto di “naturalità” che non è “il lasciare fare alla natura il suo corso” senza controllare i processi, bensì l'adozione di pratiche a basso impatto ambientale che consentano di ottenere vini sani, conservabili e con una forte identità varietale e territoriale e nel contempo un elevato livello di qualità e di sicurezza per il consumatore (food safety).

30 novembre 2023: “La gestione e la qualità delle acque reflue e di scolo italiane” (21)

L'incontro si è proposto di approfondire le informazioni tecnico-scientifiche e applicative per la gestione delle acque, sia di scolo sia a uso agroindustriale, dopo la bonifica di territori paludosi con le opere di canalizzazione per lo smaltimento e utilizzo delle acque di superficie. L'obiettivo principale è quel-

lo di far conoscere la gestione idrica da parte dei Consorzi di Bonifica (ANBI-Associazione Nazionale Bonifiche) e del Canale Emiliano Romagnolo (CER), operanti in quei territori di bonifica che hanno consentito lo sviluppo di gran parte dell'agricoltura italiana. Fino agli anni '60 del secolo scorso le opere idrauliche di bonifica erano finalizzate al recupero e messa a coltura dei terreni di aree paludose, per migliorare l'economia, la salubrità e l'occupazione lavorativa in aree depresse, per cui le acque venivano fatte defluire direttamente al mare attraverso i canali artificiali ed erano scarsamente utilizzate.

Nella seconda metà del '900 lo sviluppo industriale, il processo di inurbamento e le mutate esigenze della popolazione hanno aumentato la richiesta e destinazione d'uso della risorsa idrica e, spesso, non sono state osservate le regole essenziali per mantenere i normali parametri qualitativi e igienici delle acque (Food Safety). Negli ultimi decenni le tecnologie introdotte sia in agricoltura sia nei processi industriali e lo stile di vita consumistico delle persone, hanno indotto l'attuale degrado ambientale, che si ripercuote sull'intero ecosistema e sulla qualità e sicurezza alimentare dei prodotti che troviamo sulle nostre tavole.

Gli inquinanti sono molteplici e derivano dai prodotti utilizzati in agricoltura, nell'industria, per l'igiene della casa e della persona, quali antiparassitari, diserbanti, fertilizzanti, detersivi, disinfettanti, microplastiche, che troviamo nelle acque di superficie e di falda, che condizionano la vita delle piante e della fauna acquatica di fiumi e canali. Le modifiche della vegetazione e della vita acquatica, fino alla sua scomparsa in alcuni casi, influisce negativamente sull'intero ecosistema e può compromettere anche la stabilità degli argini dei canali e il normale deflusso delle acque. La gestione corretta della rete idrica nell'industria, nell'agricoltura e urbana, unita alla conoscenza delle caratteristiche biologiche, chimiche e fisiche delle acque, comprese quelle irrigue, diventa cruciale per evitare l'accumulo di inquinanti nel suolo, che modificano la biologia dell'albero, il valore nutrizionale e alimentare del cibo.

Uno scambio corretto e costruttivo di esperienze e informazioni fra gli addetti è essenziale per affrontare i cambiamenti, non solo climatici, che affliggono il sistema produttivo, ambientale e anche la nostra società nella normale vita quotidiana ricordando sempre che il cibo è agricoltura.

APPROFONDIMENTI BIBLIOGRAFICI UTILI

1. https://european-union.europa.eu/priorities-and-actions/actions-topic/food-safety_it
2. https://eur-lex.europa.eu/summary/chapter/food_safety.html?root_default=SUM_1_CODED%3D30
3. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/IT/TXT/PDF/?uri=CELEX:12012E/TXT>
4. https://eur-lex.europa.eu/legal-content/IT/TXT/?uri=LEGISSUM:internal_market
5. <https://better-training-for-safer-food.ec.europa.eu/training/?redirect=0>
6. <https://www.efsa.europa.eu/it/topics>
7. <https://op.europa.eu/it/publication-detail/-/publication/b70d1b20-499a-11e7-aea8-01aa75ed71a1/language-en/format-PDF/source-76151396>
8. <https://www.parlamento.it/parlam/leggi/deleghe/97155dl.htm>
9. <https://www.alimeta.it/guida/manuale-autocontrollo-haccp.htm>
10. <https://obiettivoqualita.it/2019/04/scarica-modello-manuale-haccp-autocontrollo-in-word>
11. https://www.politicheagricole.it/flex/files/7/4/b/D.44c-1d3c8339a619cc027/Allegato_2____Buona_Pratica_Agricola.pdf
12. <https://www.alimeta.it/guida/schede-autocontrollo-haccp.htm>
13. <https://www.politicheagricole.it/flex/cm/pages/ServeBLOB.php/L/IT/IDPagina/7683>
14. [https://www.carabinieri.it/arma/curiosita/non-tutti-sanno-che/n/nuclei-antisofisticazione-e-sanit%c3%a0-\(n-a-s\)-dei-carabinieri](https://www.carabinieri.it/arma/curiosita/non-tutti-sanno-che/n/nuclei-antisofisticazione-e-sanit%c3%a0-(n-a-s)-dei-carabinieri)
15. <https://www.normattiva.it/uri-res/N2Ls?urn:nir:stato:decreto.legge:2023-03-10;20>
16. <https://www.scuolasicurezza.it/norme-igieniche-in-cucina/>
17. <http://www.georgofili.it/contenuti/dettaglio/12409>
18. <http://www.georgofili.it/contenuti/evento/17495>
19. <http://www.georgofili.it/contenuti/evento/19544>
20. <http://www.georgofili.it/contenuti/evento/19564>
21. <http://www.georgofili.it/contenuti/evento/19580>

Attualità e prospettive per il Biogas e il Biometano

Paolo Balsari^{1,2}, Elio Dinuccio²

¹ Accademia dei Georgofili

² Università degli Studi di Torino

INTRODUZIONE

L'impiego di fonti energetiche sostenibili è uno dei pilastri delle iniziative globali per affrontare le sfide del cambiamento climatico. Nel contesto europeo, la strategia di sviluppo delle Fonti di Energia Rinnovabile (FER) guida la corsa verso l'ambizioso obiettivo di ridurre le emissioni di gas a effetto serra del 55% entro il 2030 rispetto ai livelli del 1990, delineando un percorso per affrontare le crescenti preoccupazioni ambientali e raggiungere la neutralità climatica entro il 2050.

In questo scenario, emerge il ruolo del processo di digestione anaerobica delle biomasse per la produzione di biogas, una risorsa versatile, utilizzabile per la produzione di energia elettrica e termica e il trasporto sostenibile (biometano). Inoltre, il digestato, prodotto residuo di tale processo, si configura come un fertilizzante organico di elevata qualità che garantisce l'apporto di nutrienti essenziali per le colture in sostituzione dei concimi di sintesi.

In Italia, lo sviluppo del settore della produzione di energia da biogas ha visto un forte sviluppo a partire dal 2008, a seguito dell'introduzione delle tariffe omnicomprensive per l'incentivazione alla produzione di energia elettrica da fonti rinnovabili previste dal DM 18/12/2008. Attualmente, sul territorio nazionale sono presenti circa 2.200 impianti di biogas, con una potenza lorda complessiva di circa 1,45 GW e una generazione annua di energia elettrica pari a 7,85 TWh (Noussan et al., 2024). Circa l'80% di questi impianti interessano il settore agricolo e sono situati nelle regioni del nord Italia in aree a prevalente vocazione zootecnica. In particolare, circa il 75% dell'energia elettrica prodotta deriva dall'impiego di colture energetiche dedicate (soprattutto

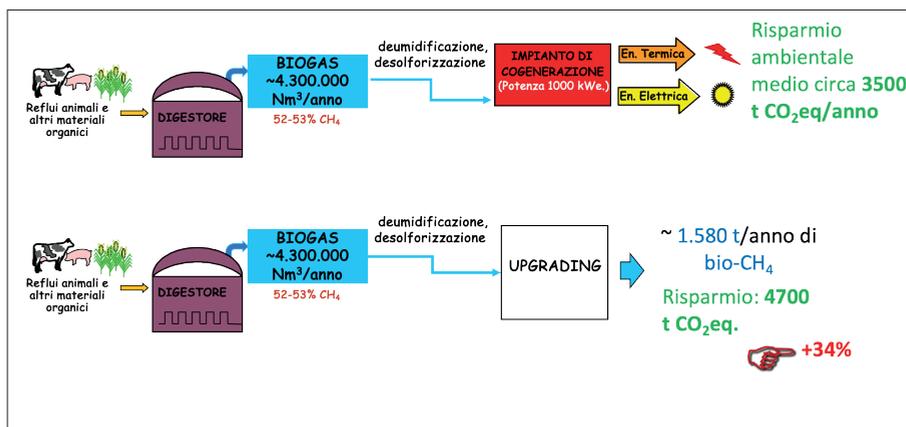


Fig. 1 Vantaggi energetici e ambientali della produzione di biometano

insilati di cereali), il 17% dai reflui zootecnici e la quota restante da residui e scarti dell'industria agroalimentare.

L'Italia è ancora agli inizi nello sviluppo del biometano, con 33 impianti operativi e una capacità complessiva pari a circa 220 milioni di m³/anno, ma il potenziale è notevole, soprattutto nel settore dei veicoli che utilizzano il bioLNG con conseguenti possibilità di investimento e generazione di posti di lavoro a livello locale. Il biometano rappresenta un biocombustibile ottenuto attraverso l'upgrading del biogas prodotto dalla digestione anaerobica delle biomasse. Questo processo mira a eliminare umidità, anidride carbonica (CO₂), idrogeno solforato e altre impurità, consentendo un significativo incremento della proporzione di metano (CH₄) nel composto risultante. In tal modo, il biometano assume caratteristiche simili a quelle del gas naturale di origine fossile, raggiungendo livelli di purezza compresi tra il 97% e il 99% di CH₄. Il biometano può essere impiegato in diverse forme, tra cui il bioCNG (Biomethane Compressed Natural Gas) e il bioLNG (Biomethane Liquefied Natural Gas) nel settore dei trasporti, offrendo un'alternativa sostenibile ai carburanti convenzionali.

In confronto alla filiera del biogas utilizzato per la produzione di energia elettrica, la filiera del biometano può contribuire in misura maggiore al risparmio di emissioni di CO₂eq (fig. 1). Questo perché il biometano evita le inefficienze spesso dovute alla scarsa valorizzazione del calore nel processo di cogenerazione, consentendo così un più efficace sfruttamento dell'energia contenuta nel biogas.

I recenti sviluppi della strategia energetica nazionale hanno determinato nuovi scenari e interessanti prospettive di sviluppo nel settore dell'agricoltura, concentrando l'attenzione sulla valorizzazione dei reflui zootecnici, i residui

colturali e dell'industria agro-alimentare. In particolare, il Decreto n. 240 del 15 settembre 2022 - "Sviluppo del biometano, secondo criteri per promuovere l'economia circolare - Produzione biometano" si basa su un meccanismo di incentivazione che prevede il rispetto di specifici livelli di riduzione delle emissioni di gas ad effetto serra rispetto a quelle generate dai combustibili fossili che il biometano andrebbe a sostituire.

Le esigenze che si profilano riguardano aspetti tecnici e operativi sulla totalità della filiera, al fine di garantire una riduzione delle emissioni di gas ad effetto serra pari almeno al 65% nel caso della produzione di biometano destinato al settore dei trasporti e all'80% in altri settori. Oltre agli sforzi per ridurre le emissioni di gas ad effetto serra, devono essere inoltre considerati i potenziali impatti sulle risorse idriche, conformemente ai requisiti previsti della Direttiva Europea sui nitrati (91/676/CEE).

STRATEGIE PER MIGLIORARE LA SOSTENIBILITÀ ENERGETICA ED AMBIENTALE DEGLI IMPIANTO DI DIGESTIONE ANAEROBICA

Diversi studi evidenziano che i benefici ambientale ottenibili dalla produzione di energia da biogas rispetto ai combustibili fossili dipendono principalmente dalla tipologia di biomasse utilizzate e dalla gestione dell'impianto, con particolare riferimento all'ottimizzazione dell'utilizzo del calore prodotto e alle fasi di stoccaggio e distribuzione in campo del liquame digerito.

Scelta delle biomasse per l'alimentazione dei digestori

Gli impianti di biogas sono generalmente alimentati con biomasse di origine sia animale sia vegetale. Tra le colture energetiche è l'insilato di mais la biomassa utilizzata più frequentemente e, generalmente, è codigerita con reflui di origine zootecnica o altre biomasse vegetali (Dinuccio et al., 2010). Poiché le perdite di gas serra generate dalla filiera di produzione del biogas sono in buona parte legate alla produzione e al trasporto delle colture energetiche impiegate per l'alimentazione dei digestori (Fuchsz & Kohlheb, 2015), nell'ottica di un loro contenimento, una possibile opzione consiste nella sostituzione parziale o totale di tali biomasse dedicate, con i residui colturali e i sottoprodotti provenienti dal settore agroindustriale, il cui costo ambientale, in termini di emissioni di CO₂ equivalente in atmosfera, ricade su un altro settore produttivo. Da una ricerca condotta nell'ambito del progetto europeo Eu-Agrobiogas (Balsari et al., 2009), è emerso, infatti, che sostituendo le colture energetiche

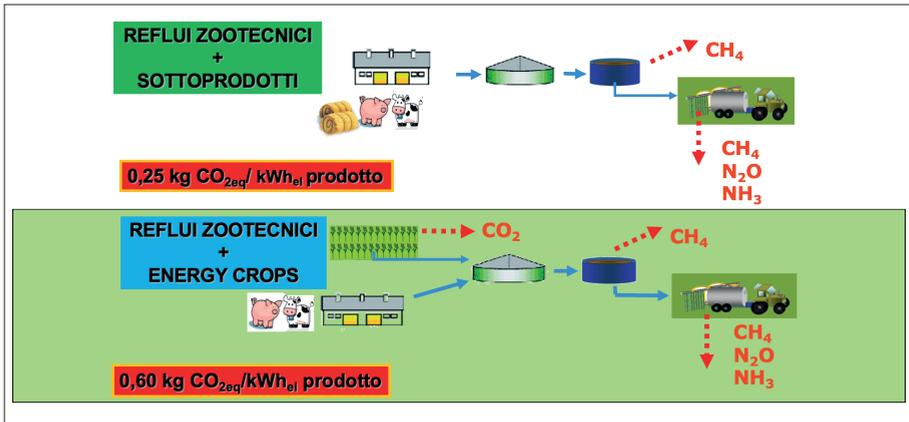


Fig. 2 Emissioni di CO_{2eq} per ogni kWh elettrico prodotto, in funzione del tipo di miscela che alimenta i digestori anaerobici

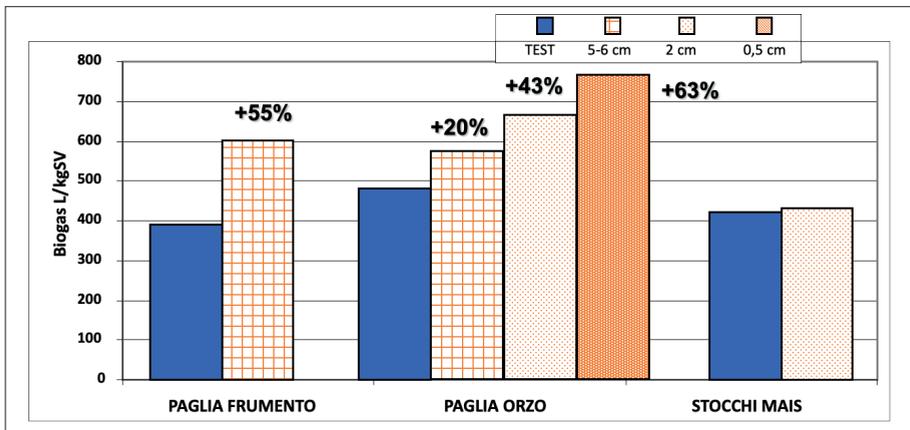


Fig. 3 Produzioni di biogas di biomasse trinciate a diverse dimensioni e confronto con le produzioni delle biomasse non trattate. Prova condotta dal DISAFA dell'Università di Torino

utilizzate per l'alimentazione di un impianto di digestione anaerobica con residui colturali e sottoprodotti agroindustriali, è possibile abbattere di oltre il 50% le emissioni di gas ad effetto serra generate dall'impianto stesso (fig. 2).

Queste ultime tipologie di biomasse sono tuttavia generalmente caratterizzate da elevati contenuti di composti ligno-cellulosici e quindi in grado di fornire limitate produzioni di biogas e di metano. Negli ultimi anni, per migliorare le rese in biogas dei sottoprodotti, sono state messe a punto diverse tecniche di pretrattamento finalizzate a spezzare i legami ligno-cellulosici e quindi a favorire la digestione della sostanza organica presente al loro interno. Alcune di queste

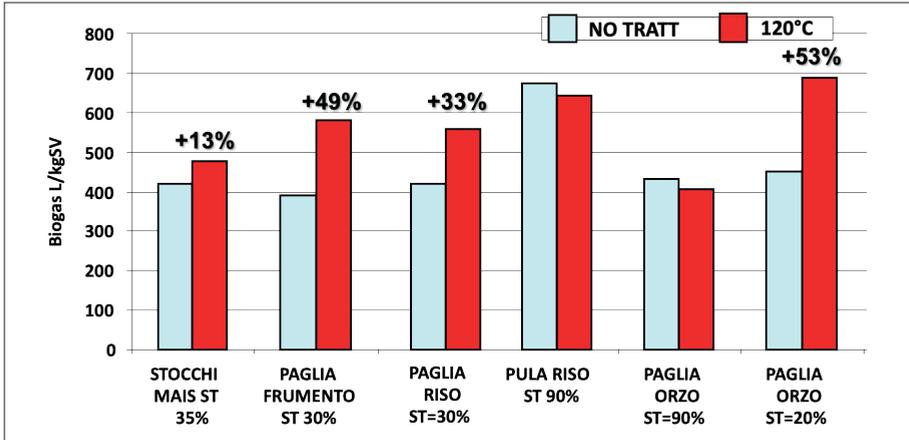


Fig. 4 Produzioni specifiche di biogas di residui colturali pre-trattati a 120°C per 30 minuti e confronto con le produzioni specifiche di biogas dei campioni non trattati. Prova condotta dal DISAFA dell'Università di Torino

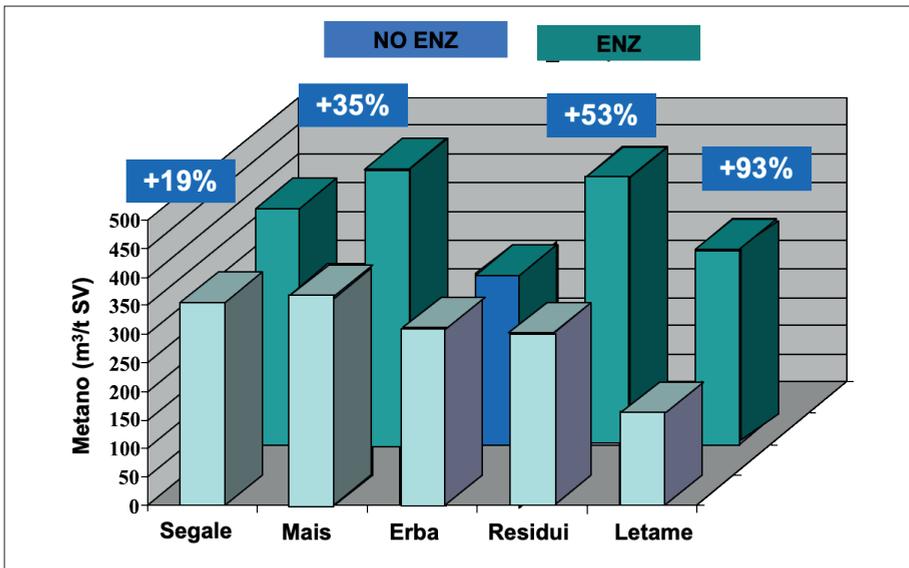


Fig. 5 Risultati di una prova di digestione anaerobica con biomasse pre-trattate con un enzima idrolitico, condotta dal Leibniz Institute for Agricultural Engineering di Potsdam-Bornim, ATB, Germany

tecniche, che possono essere di natura fisico-meccanica, chimica o biologico-enzimatica, sono state oggetto di sperimentazioni nell'ambito del progetto europeo Eu-Agrobiogas (Balsari et al., 2009), evidenziando variazioni più o meno significative nelle produzioni specifiche di biogas e metano (figg. 3-5).

Tuttavia, al fine di effettuare una scelta appropriata del tipo di pretrattamento da impiegare in un impianto reale, è essenziale considerare ulteriori fattori, tra cui:

- il costo economico del trattamento,
- la semplicità operativa,
- il tempo necessario per effettuarlo,
- l'efficienza energetica.

Per quanto riguarda i costi economici, i trattamenti fisici, come la trinciatura e la molitura, e i trattamenti chimici con l'uso di sostanze come la calce (CaOH), sono tra i meno onerosi. Anche il trattamento termico si può inserire tra quelli relativamente più economici, in quanto è possibile prevedere di utilizzare il calore in eccesso prodotto dal co-generatore, nel caso di trattamenti a temperature intorno a 100°C. Trattamenti a temperature più elevate risultano più dispendiosi e difficilmente attuabili in azienda, anche per ragioni di sicurezza dell'operatore. Sotto il profilo della semplicità operativa, sia i trattamenti meccanici che quelli biologici si collocano tra le opzioni più valide, mentre trattamenti termici ad alte temperature e quelli chimici con acidi o basi forti implicano la realizzazione di specifiche strutture complesse e dotate di adeguati dispositivi di sicurezza per l'operatore.

Infine, per quanto riguarda il tempo necessario per il trattamento, i trattamenti biologici sono generalmente più dispendiosi, poiché spesso richiedono lunghi periodi per l'attivazione dei microrganismi impiegati. Allo stesso modo, i trattamenti chimici possono risultare più prolungati nel caso in cui siano impiegate sostanze che richiedono correzioni dei parametri chimici delle biomasse (come il pH) prima della loro introduzione nel digestore, al fine di evitare l'inibizione del processo di digestione anaerobica.

Sebbene l'incremento della produttività, in termini di biogas, della biomassa rappresenti indubbiamente l'obiettivo principale dei pretrattamenti, non bisogna trascurare alcuni benefici indiretti che essi comportano sull'efficienza complessiva del processo di digestione anaerobica. La modifica della struttura delle biomasse, sia dal punto di vista fisico (attraverso la riduzione della pezzatura), sia da quello chimico (mediante la semplificazione molecolare), consente di rendere la fase di alimentazione dei digestori più agevole, di ridurre i consumi energetici associati alla miscelazione del materiale durante il processo di digestione, oltre che di contenere la formazione di crosta superficiale all'interno dei reattori.

Valorizzazione dell'energia termica

Il bilancio termico dei digestori dipende da diverse variabili, tra cui le condizioni climatiche e in particolare le temperature ambientali, i volumi e le caratteristiche delle biomasse impiegate (capacità termica), la temperatura di processo (mesofila, termofila) e le soluzioni impiantistiche adottate. In particolare, la temperatura rappresenta un parametro chiave nel processo di digestione anaerobica, in quanto influisce direttamente sulla velocità di degradazione del materiale organico da parte dei diversi gruppi microbici coinvolti. Per mantenere il livello ottimale di temperatura e, quindi, garantire un processo stabile ed efficiente, di solito viene utilizzata una frazione del calore prodotto dall'unità di cogenerazione, che nelle specifiche condizioni dei contesti del nord Italia rappresenta mediamente il 20-30% della sua capacità termica. Circa l'80% della rimanente quota di energia termica prodotta durante il processo di cogenerazione, come evidenziato da un'indagine condotta dal DISAFA dell'Università di Torino, viene generalmente in larga parte dissipata. Tuttavia, una gestione ottimale dell'energia termica non solo contribuisce all'efficienza economica, ma anche a migliorare l'impatto ambientale complessivo del sistema. In particolare, da uno studio condotto sempre nel contesto del progetto europeo Eu-Agrobiogas (Amon et al., 2009), risulta che il corretto utilizzo dell'eventuale surplus di calore potrebbe consentire di ridurre di circa il 20% le emissioni di $\text{CO}_{2\text{eq}}$ generate dall'intero processo di digestione anaerobica. Diversi sono i possibili impieghi del surplus di energia termica, e dipendono dallo specifico contesto in cui si opera: il riscaldamento di edifici o serre ubicate in prossimità dell'impianto di biogas, il teleriscaldamento, l'essiccazione di cereali, il pretrattamento delle biomasse prima dell'introduzione nei digestori, o il trattamento della frazione solida separata con la produzione di concimi pellettati organo-minerali. È tuttavia anche importante ottimizzare la potenziale produzione di energia termica evitando per quanto possibile la sua dispersione.

Nell'ambito del progetto LIFE CLINMED-FARM (LIFE20 CCM/ES/001751) è attualmente in fase di validazione una soluzione tecnologica (Cupola M3 Heat Shield[®]) appositamente realizzata per ridurre le dispersioni di energia termica dalle coperture gasometriche dei digestori anaerobici. Il sistema (fig. 6), è formato da 3 elementi principali:

- un telo esterno in fibra poliestere spalmata PVC tenuto in pressione con aria;
- una membrana intermedia isolante (Heat Shield[®]), costituita da un materiale innovativo a tre strati ultra-schermato che funge da protezione contro la dissipazione di calore;

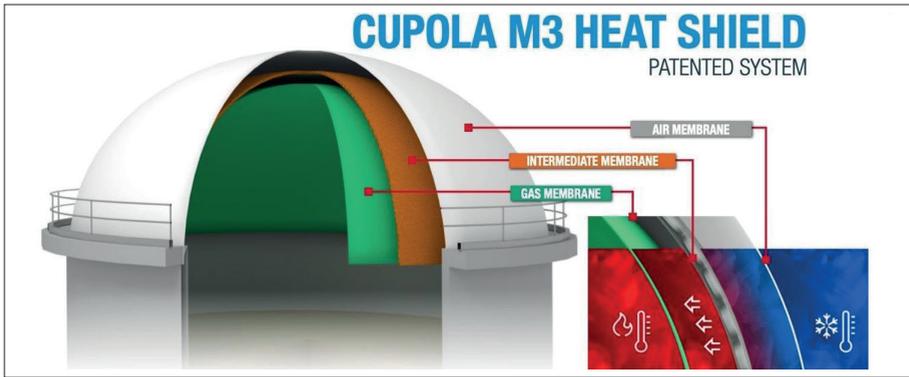


Fig. 6 Schema illustrativo del sistema *Cupola M3 Heat Shield* realizzato dalla ditta *Ecomembrane*

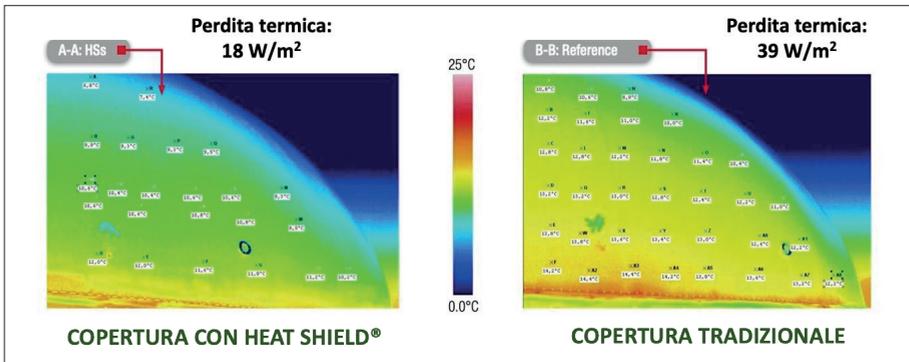


Fig. 7 Confronto tra le termografie e i flussi di energia termica rilevati dalla *Cupola M3 Heat Shield* (HS) e da una copertura gasometrica tradizionale (Reference) nelle stesse condizioni operative

- un telo interno in fibra poliestere spalmata PVC che consente lo stoccaggio del biogas prodotto all'interno del digestore stesso.

Sulla base dei risultati sperimentali attualmente disponibili, la sostituzione del sistema di copertura attuale dei due digestori dell'impianto di digestione anaerobica in esame con il sistema *Cupola M3 Heat Shield* potrebbe portare a una riduzione delle dispersioni di energia termica superiore al 50% (fig. 7). La potenza termica risparmiata, quantificabile in circa 50 kW, corrisponde approssimativamente al 5% della potenza termica installata del cogeneratore (994 kWth).



Fig. 8 Copertura in materiale plastico posta sopra la vasca di stoccaggio del liquame digerito per abbattere le emissioni di metano e ammoniacca

Corretta gestione del liquame digerito

La gestione del liquame digerito rappresenta una delle sfide fondamentali per garantire la sostenibilità della produzione di biogas dagli impianti di digestione anaerobica di origine agricola. Nonostante il liquame digerito, in uscita dall'impianto di biogas, sia riconosciuto come un fertilizzante organico di elevato valore agronomico, la sua gestione presenta elementi di criticità legati alle sue caratteristiche intrinseche. Queste peculiarità contribuiscono a renderlo una potenziale fonte di emissioni di ammoniacca (NH_3) e gas ad effetto serra, oltre a costituire un rischio di inquinamento delle falde acquifere da nitrati.

In particolare, conformemente all'art. 2 lett. g) della Direttiva Nitrati (91/676/CEE), al liquame digerito sono applicate le limitazioni d'uso previste per le matrici zootecniche. Ciò implica l'applicazione di quantitativi massimi di azoto zootecnico ad ettaro, con un limite massimo di 170 kg/ha nelle Zone Vulnerabili ai Nitrati (ZVN). La necessità di rispettare i limiti normativi e agronomici, insieme al miglioramento della gestione, motiva l'opportunità di utilizzare trattamenti adeguati per modificare le caratteristiche del liquame digerito.

Tra le tecniche di trattamento di questi effluenti, la separazione solido-liquido è sicuramente quella più diffusa, sia come trattamento a sé stante, sia in combinazione con altri processi. La frazione solida che ne deriva, ricca di sostanza organica, può costituire un prodotto più facilmente trasportabile e utilizzabile su terreni più distanti o eventualmente può essere ceduta ad altre aziende.

Nella fase di stoccaggio del liquame digerito si può intervenire coprendo i bacini con strutture per il recupero del biogas (fig. 8). Ciò non solo riduce l'impatto ambientale della digestione anaerobica, ma consente anche di recuperare il potenziale metanigeno residuo del liquame digerito.

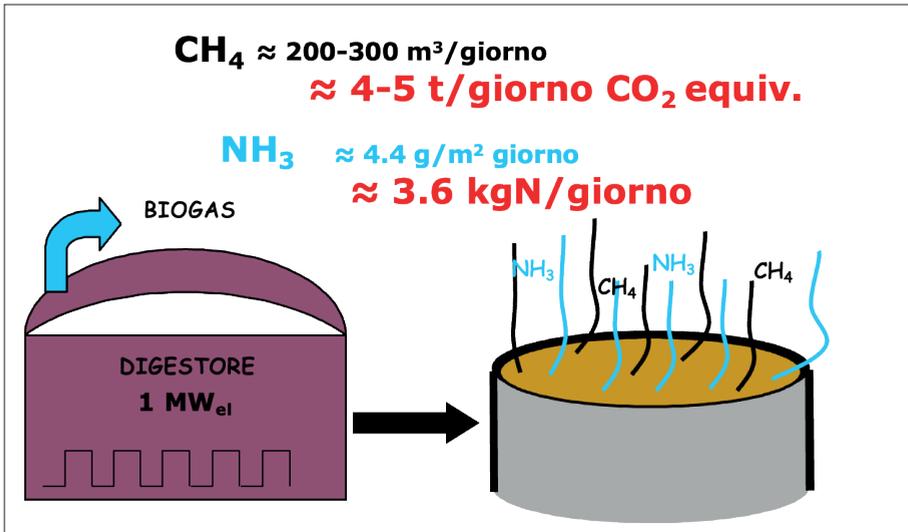


Fig. 9 Possibili perdite di metano e ammoniaca dallo stoccaggio del liquame in uscita da un impianto di biogas della potenza elettrica di 1MW

Uno studio su uno stoccaggio del liquame digerito in scala reale (Gioelli et al., 2011) ha evidenziato la possibilità di recuperare da un impianto di 1 MWe circa 500 m³/giorno di biogas, corrispondente a circa 1 MWe/giorno e di evitare di emettere in atmosfera 4-5 t/giorno di CO_{2eq} (fig. 9). Le emissioni medie giornaliere di ammoniaca sono risultate mediamente pari a 4 g NH₃/m² di superficie della vasca al giorno.

Anche gli obiettivi da perseguire per una corretta distribuzione del liquame digerito sono molteplici. Tra questi, il rispetto della dose di elementi fertilizzanti desiderata, la buona uniformità di distribuzione trasversale e longitudinale rispetto alla direzione di avanzamento della macchina, il contenimento del compattamento dei suoli e la riduzione delle emissioni di NH₃ e gas a effetto serra sono tra quelli di maggiore rilevanza.

Il liquame digerito presenta una composizione molto variabile al variare della composizione delle biomasse in input al digestore, dei parametri di processo, delle condizioni di stoccaggio e della presenza o meno di sistemi di trattamento (es. separazione solido liquido). Inoltre, l'assenza o la scarsa efficienza dei sistemi di omogeneizzazione nelle vasche di stoccaggio determina notevoli difficoltà nella corretta definizione del contenuto di elementi fertilizzanti del refluo. Una possibile soluzione a questo problema è rappresentata dall'impiego di metodi rapidi di analisi che consentono di determinare direttamente sullo spandiliquame alcuni dei parametri analitici dell'effluente. A titolo di

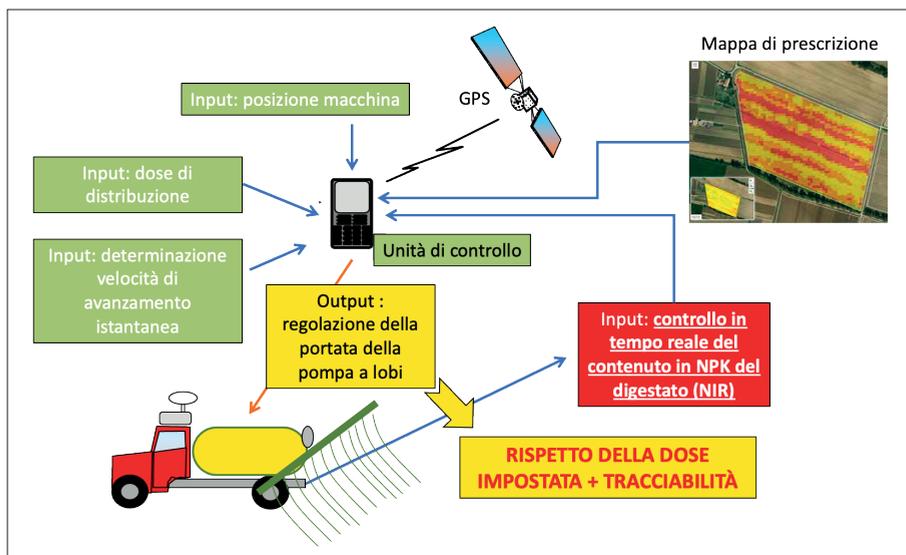


Fig. 10 *Distribuzione del liquame digerito a rateo variabile per la massimizzazione dell'utilizzo dei nutrienti*

esempio, l'impiego di sistemi innovativi di analisi basati sulla spettroscopia nel vicino infrarosso (Near Infrared Spectroscopy - NIRS), integrati a dispositivi per la Distribuzione Proporzionale all'Avanzamento (DPA), permette di calibrare la portata dei sistemi di alimentazione in funzione della velocità di avanzamento dello spandiliquame e del reale contenuto in nutrienti del liquame. Inoltre, le recenti innovazioni tecnologiche, grazie alla possibilità di interfacciare il sistema di controllo della dose con un ricevitore satellitare (GPS) e le mappe di fertilità dei suoli consentono di realizzare una distribuzione a dosi variabili, in funzione delle esigenze nutrizionali delle colture sia spaziali sia temporali (fig. 10).

L'operazione di spandimento in campo è anche la fase di gestione del liquame digerito che comporta i maggiori rischi di perdite di azoto tramite volatilizzazione. Tra le possibili mitigazioni di tali perdite e che sono state anche oggetto di valutazione da parte del DISAFA dell'Università di Torino, sempre nell'ambito del progetto LIFE CLINMED-FARM, vi è la distribuzione localizzata in bande rasoterra e l'interramento immediato del refluo, in combinazione con l'acidificazione e l'impiego di inibitori della nitrificazione.

La distribuzione in banda, grazie alla limitata nebulizzazione del getto, è risultata in grado di ridurre del 40-50 % le perdite di NH_3 e permettere una migliore uniformità di distribuzione rispetto a tecniche tradizionali quali

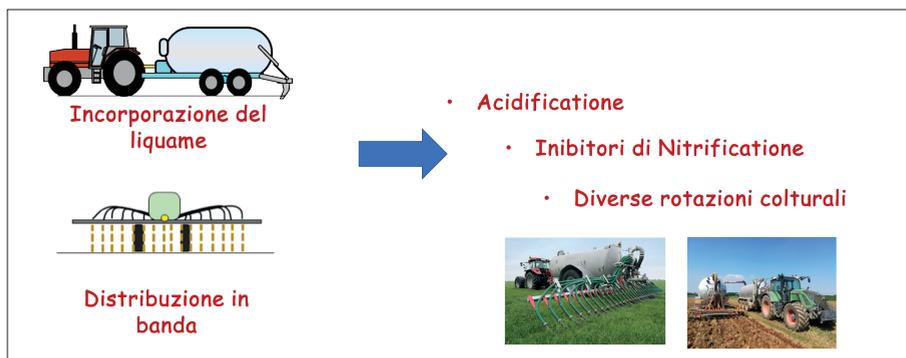


Fig. 11 Alcune soluzioni di mitigazione delle emissioni di ammoniaca e gas ad effetto serra oggetto di valutazione nell'ambito del progetto LIFE CLINMED-FARM (LIFE20 CCM/ES/001751)

la distribuzione superficiale con piatto deviatore. L'interramento immediato, indicato come soluzione ottimale dalla maggior parte delle normative vigenti, prevede un'iniezione diretta del refluo all'interno dello strato di suolo interessato dalle lavorazioni ed esplorato dall'apparato radicale delle colture consentendo fino a oltre il 95% di riduzione delle perdite di NH_3 .

L'acidificazione è un'efficace tecnica di abbattimento delle emissioni ammoniacali, ancora poco diffusa in Italia, considerata come alternativa all'interramento dei liquami. Con questa tecnica, i reflui vengono normalmente additivati con acidi forti come l'acido solforico, così da ridurre il pH e spostare l'equilibrio dall'ammoniaca allo ione ammonio che, essendo solubile e non volatile, non viene rilasciato in atmosfera: la riduzione delle emissioni di NH_3 risulta fino a oltre il 70% rispetto alla distribuzione di liquame non acidificato (Stevens et al., 1989; Nyord et al., 2013).

L'impiego di inibitori della nitrificazione, oltre ad avere un effetto mitigante sulle emissioni di protossido di azoto (N_2O), riduce le perdite per lisciviazione e favorisce la disponibilità di azoto per le colture (Di e Cameron, 2005; Randall e Vetsch, 2005).

CONCLUSIONI

La digestione anaerobica può risultare una strategia chiave per promuovere la sostenibilità nei processi agricoli e zootecnici. Le prospettive di sviluppo del settore sono ampie, con possibilità di migliorare ulteriormente l'efficienza di conversione delle biomasse, ottimizzare la gestione dei nutrienti, e sfruttare

in modo più efficiente l'energia prodotta. L'adozione di soluzioni integrate e orientate all'economia circolare rappresenta un passo fondamentale per massimizzare l'impatto positivo della produzione di biogas, privilegiando l'impiego delle deiezioni zootecniche, dei residui colturali e dei sottoprodotti agroindustriali e la produzione di biometano

RIASSUNTO

Il processo di digestione anaerobica delle biomasse gioca un ruolo cruciale nella transizione verso un sistema energetico più sostenibile e a basse emissioni di gas inquinanti. La sua importanza risiede nella capacità di trasformare diverse tipologie di materiali organici in biogas, una risorsa versatile, utilizzabile per la produzione di energia elettrica e termica e il trasporto sostenibile (biometano). L'Italia è ancora agli inizi nello sviluppo del biometano, ma il potenziale è notevole, soprattutto nel settore dei veicoli che utilizzano il bioLNG (Biomethane Liquefied Natural Gas) con conseguenti possibilità di investimento e generazione di posti di lavoro a livello locale.

I recenti sviluppi della strategia energetica nazionale hanno determinato nuovi scenari e interessanti prospettive di sviluppo nel settore dell'agricoltura, concentrando l'attenzione sulla valorizzazione dei reflui zootecnici, i residui colturali e dell'industria agro-alimentare. Le esigenze che si profilano riguardano aspetti tecnici e operativi sulla totalità della filiera. Nella relazione vengono esaminate le prospettive di sviluppo del settore e le principali criticità, e sono condivise alcune esperienze di ricerca condotte su questa specifica tematica, con particolare riferimento agli aspetti legati all'ottimizzazione dell'efficienza energetica ed ambientale degli impianti.

ABSTRACT

The anaerobic digestion process of biomass plays a crucial role to the transition to a more sustainable and low-emission energy system. Its relevance derives from its capability to convert different organic materials into biogas, a versatile biofuel that can be used to generate electrical and thermal energy as well as sustainable transportation (biomethane). Italy is still in its early stages of biomethane development, but the potential is substantial, especially in the field of vehicles utilizing bioLNG (Biomethane Liquefied Natural Gas), leading to investment opportunities and local job creation.

Recent developments in the national energy strategy have created new challenges and attractive opportunities in the agriculture sector, with an emphasis on exploiting animal waste, crop residues, and agri-food industry byproducts. The emerging needs concern technological and operational issues across the whole supply chain.

This report explores the development prospects of the sector, highlighting opportunities and key challenges. Some research experiences on this topic are also presented and discussed, with a particular focus on the energy and environmental efficiency optimization of anaerobic digestion plants.

BIBLIOGRAFIA

- AMON T., MAYR H., EDER M., HOBBS P. ET AL. (2009): Proceeding of the 17th European Biomass Conference and Exhibition, Hamburg, Germany - 29 Jun 2009 – 3 Jul 2009
- BALSARI P., MENARDO S., GIOELLI F., DINUCCIO E. (2009): *Le soluzioni che ottimizzano la digestione anaerobica*, «L'Informatore Agrario», 27, pp. 22-25.
- DI H.J., CAMERON K.C. (2005): *Reducing environmental impacts of agriculture by using a fine particle suspension nitrification inhibitor to decrease nitrate leaching from grazed pastures*, «Agriculture, ecosystems & environment», 109 (3-4), pp. 202-212.
- DINUCCIO E., BALSARI P., GIOELLI F., MENARDO S. (2010): *Evaluation of the biogas productivity potential of some Italian agro-industrial biomasses*, «Bioresource Technology», 101 (10), pp. 3780-3783.
- FUCHSZ M., KOHLHEB N. (2015): *Comparison of the environmental effects of manure- and crop-based agricultural biogas plants using life cycle analysis*, «Journal of Cleaner Production», 86, pp. 60-66.
- GIOELLI F., DINUCCIO E., BALSARI P. (2011): *Residual biogas potential from the storage tanks of non-separated digestate and digested liquid fraction*, «Bioresource Technology», 102 (22), pp. 10248-10251.
- NOUSSAN M., NEGRO V., PRUSSI M., CHIARAMONTI D. (2023): *The potential role of bio-methane for the decarbonization of transport: An analysis of 2030 scenarios in Italy*, «Applied Energy», 355 (1), 122322.
- NYORD T., LIU D., ERIKSEN J., ADAMSEN A.P.S. (2013): *Effect of acidification and soil injection of animal slurry on ammonia and odour emission*, Proceeding of the 15th RAMIRAN International Conference in Versailles, France, 3-5 June.
- RANDALL G.W., VETSCH J.A. (2005): *Corn production on a subsurface-drained mollisol as affected by fall versus spring application of nitrogen and nitrapyrin*, «Agronomy journal», 97 (2), pp. 472-478.
- STEVENS R.J., LAUGHLIN R.J., FROST J.P. (1989): *Effect of acidification with sulfuric acid on the volatilization of ammonia from cow and pig slurries*, «J Agric Sci», 113, pp. 389-395.

Finito di stampare
presso Tipografia Monteserra (Vicopisano - PI)
nel mese di marzo 2024