

ECONOMIA CIRCOLARE, DECARBONIZZAZIONE E RISCHI SOCIALI

**Gli impatti ambientali e socio-economici derivanti dagli usi
del suolo agricolo e forestale e dalle attività zootecniche**

Il riutilizzo dei rifiuti organici della città



.....
Con il contributo di:



ECONOMIA CIRCOLARE, DECARBONIZZAZIONE E RISCHI SOCIALI

**Gli impatti ambientali e socio-economici
derivanti dagli usi del suolo agricolo e forestale
e dalle attività zootecniche**

Il riutilizzo dei rifiuti organici della città



Coordinamento:

Francesca Federici e Chiara Pirovano

Testi:

Guido Agnelli, Massimo Centemero, Francesca Federici, Marta Maggi,
Davide Marino, Angelo Marucci, Giovanni Molina, Chiara Pirovano, Alessia
Toldo

Progetto grafico e impaginazione:

Riccardo Massarotto, Giulia Tagliente

Copertina:

Riccardo Massarotto

Mappe e infografiche:

Giulia Tagliente

Comitato scientifico:

Lorenzo Ciccarese, Walter Ganapini, Dario Olivero, Giovanni Vallini

Si ringraziano:

Samuele Alessandrini, Nadia Carfagno, Roberto Comolli, Cristiano Concaro,
Giuliana D'Imporzano, Cristina De Ponti, Gian Luca Gurrieri, Francesca La
Rocca, Matteo Lazzarini, Paolo Masserdotti, Bianca Minotti

Con il contributo di:



**Il Report non riflette opinioni e posizionamenti di Regione Lombardia o di
altri enti consultati durante la ricerca**

Data di pubblicazione:

Marzo 2023

Licenza Creative Commons BY-NC-SA



Quest'opera è stata rilasciata con licenza Creative Commons Attribuzione - Non commerciale - Condividi
allo stesso modo 2.5 Italia. Per leggere una copia della licenza visita il sito web <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.5/it/> o spedisci una lettera a Creative Commons, PO Box 1866, Mountain View, CA
94042, USA.

Utilizza questa dicitura per citare: **Economia circolare, decarbonizzazione e rischi sociali,
EStà (2023).**

ISBN: 9791281285033

COMITATO SCIENTIFICO

Lorenzo Ciccarese

Ecologo, Dirigente di ricerca in ISPRA, dove è a capo dell'Area per la protezione delle specie e degli habitat terrestri e per la gestione sostenibile dei sistemi agricoli e forestali. Ricopre anche il ruolo di national focal point dell'Ipbes, un organismo Onu per la conservazione della biodiversità; è stato chiamato a guidare il processo per la redazione del Global Earth Outlook del Programma Ambiente dell'Onu.

Walter Ganapini

Ambientalista, ricercatore e civil servant. Membro onorario del Comitato Scientifico dell'Agenzia Europea dell'Ambiente. Membro del Comitato Etico di Etica Sgr, Gruppo Banca Etica.

Dario Olivero

Agronomo, nel 1980 fonda e conduce insieme alla moglie Renata Lovati l'azienda zootecnica Isola Maria (Albairate), certificata biologica dal 2009. Ha ricoperto numerosi incarichi di rappresentanza in organi sia sindacali che tecnici. Con la ONG Agricoltori Solidarietà e Sviluppo (AseS) si occupa di progetti di sviluppo delle comunità rurali in Mozambico, Senegal, Marocco, Paraguay e di agricoltura sociale in Italia.

Giovanni Vallini

Già Professore Ordinario di Microbiologia Agraria, presso l'Università di Verona, di cui è stato Direttore del Dipartimento di Biotecnologie, avendo precedentemente svolto - prima del passaggio al mondo accademico - attività di ricerca in forza al Centro di Studio per la Microbiologia del Suolo del CNR di Pisa.

INDICE

I dieci messaggi principali	6
Raccomandazioni di policy	10
Emissioni ed assorbimenti di gas climalteranti	32
Agricoltura convenzionale e biologica: performance ambientali ed economico-sociali	40
Focus sugli effluenti di allevamento	84
Remunerazione dei servizi ecosistemici forniti dalle foreste	100
Inquadramento del settore agro-zootecnico lombardo	142
Inquadramento sullo stato delle foreste	156
Mappa delle politiche	168
Mappa degli attori	176
Mappa delle ricerche	178
Il riutilizzo dei rifiuti organici della città (forsu e fanghi)	188
La frazione organica dei rifiuti solidi urbani	194
I fanghi di depurazione delle acque reflue	216
Bioeconomia circolare: un inquadramento teorico	256
Il suolo: componente essenziale degli ecosistemi terrestri	262
Caratteristiche e problematiche dei suoli: panoramica dalla scala mondiale alla scala locale	272
Emissioni e assorbimenti del settore agro-zootecnico e forestale	281
Potenziali sviluppi della ricerca	292
Bibliografia	294

DI COSA SI OCCUPA IL REPORT

La ricerca è finalizzata a fornire raccomandazioni di policy a livello perlopiù regionale in relazione a due tematiche principali: gli impatti ambientali (principalmente climatici) e socio-economici derivanti dagli usi del suolo agricolo e forestale e dalle attività zootecniche; le potenzialità e gli ostacoli relativi all'utilizzo circolare della frazione organica dei rifiuti solidi urbani e dei fanghi di depurazione delle acque. Il territorio di riferimento è quello regionale lombardo; dove possibile, sono stati sviluppati alcuni focus sulla Città Metropolitana di Milano e sul Comune di Milano (alcune indicazioni di policy sono valide anche a scala comunale). Rispetto a entrambe le tematiche sono state in primo luogo sviluppate analisi e mappature di contesto per fotografare i comparti relativi (sulle ricerche più attuali esistenti, sugli attori e sulle policy).

In relazione alla prima tematica:

- per il settore agro-zootecnico, la ricerca paragona, in termini di decarbonizzazione e di ritorni sul piano economico-sociale, l'agricoltura convenzionale con quella biologica nel territorio della pianura padana. In tema di decarbonizzazione, utilizzando il modello EX-ACT della FAO, vengono elaborate stime delle potenziali ricadute sul bilancio del carbonio (emissioni di gas climalteranti e sequestro di CO₂) a seguito dell'adozione, nel settore agricolo e zootecnico lombardo, di pratiche di tipo convenzionale e di tipo biologico. Per quanto riguarda i risultati in termini economici e sociali, viene sviluppata un'analisi basata su alcuni indicatori costruiti a partire da informazioni contenute nella banca dati RICA (Rete d'Informazione Contabile Agricola, anno 2019-20), confrontando aziende e processi produttivi (vegetali e animali) che adottano metodi di produzione convenzionali, con aziende e processi produttivi che ricorrono invece a metodi di produzione biologici. La scelta di confrontare i due sistemi produttivi (biologico e convenzionale) deriva dalla volontà di ragionare su grandi numeri e su sistemi codificati: il gruppo di ricerca è ben consapevole che esistano svariate tipologie di sistemi produttivi (i diversified farming system, come specificato nell'indicazione di policy n° 6 a pagina 15 del report) e che anche l'agricoltura convenzionale adotti pratiche sostenibili, ma per ragionare su grandi numeri è necessario da un lato applicare modelli (per esempio il modello EX-ACT) e di conseguenza operare alcune semplificazioni e dall'altro utilizzare dati ufficiali (per esempio i dati RICA). E' stato inol-

tre realizzato un focus sul rapporto tra transizione climatica ed effluenti di allevamento (bovino e suino), che sono rilevanti per le emissioni dei gas climalteranti metano (CH₄) e protossido di azoto (N₂O)

- per il settore forestale, la ricerca affronta l'impatto economico-sociale - associato al contributo delle foreste alla decarbonizzazione - tramite l'approccio dei servizi ecosistemici; sviluppa, a livello regionale e di Città Metropolitana, un quadro descrittivo dell'offerta dei principali servizi ecosistemici associati alle foreste: tali servizi vengono mappati, quantificati dal punto di vista biofisico ed economico e, dove possibile, associati ad uno o più schemi di PES (Pagamenti per i Servizi Ecosistemici) che Regione Lombardia potrebbe implementare.

In relazione alla seconda tematica:

- per la frazione organica dei rifiuti solidi urbani (FORSU) la ricerca illustra il ruolo di questa matrice organica nell'ottica della bioeconomia circolare, fornisce i dati quantitativi della raccolta differenziata della FORSU e dei relativi prodotti (dalla scala europea a quella locale), affronta le principali questioni relative alla raccolta e al trattamento dei rifiuti organici (la qualità della raccolta differenziata, gli impianti di trattamento, il mercato degli ammendanti prodotti, le opportunità degli "acquisti verdi"). Descrive le novità e le conseguenze del Regolamento Europeo dei fertilizzanti nonché gli strumenti e le risorse per lo sviluppo dell'economia circolare riferita ai rifiuti organici. Sintetizza la programmazione della gestione della FORSU in Lombardia;
- per i fanghi derivanti dalla depurazione delle acque reflue la ricerca prende in considerazione i fanghi di depurazione da impianti civili, chiarendone il ruolo in ottica di bioeconomia circolare, descrive il processo di formazione dei fanghi, i diversi destini finali ed i relativi dati quantitativi (dalla scala europea a quella locale). Tratta le principali questioni in relazione all'utilizzo agricolo, anche attraverso un inquadramento normativo, e la sintesi dei principali finanziamenti per lo sviluppo del settore. Sintetizza la programmazione della gestione dei fanghi in Lombardia.

STRUTTURA DEL REPORT

RACCOMANDAZIONI
DI POLICY

IMPATTI
AMBIENTALI E
SOCIO-ECONOMICI
DERIVANTI DAGLI
USI DEL SUOLO
AGRICOLO E
FORESTALE E DALLE
ATTIVITÀ
ZOOTECNICHE

POTENZIALITÀ E
OSTACOLI RELATIVI
ALL'UTILIZZO DEI
RIFIUTI ORGANICI
(FORSUE FANGHI DI
DEPURAZIONE
DELLE ACQUE)

APPROFONDIMENTI

TEMI/SETTORI TRATTATI

AGRICOLTURA,
ALLEVAMENTI E
FORESTE

FORSUE
FANGHI
DI DEPURAZIONE

AGRICOLTURA,
ALLEVAMENTI E
FORESTE

MAPPA POLITICHE,
ATTORI E
RICERCHE

FORSUE
FANGHI
DI DEPURAZIONE

BIOECONOMIA
CIRCOLARE

SUOLO

EMISSIONI E
ASSORBIMENTI

***presenti anche dati di dettaglio sulla
Città Metropolitana di Milano e/o sul Comune di Milano

Le raccomandazioni di policy relative a tutti i temi/settori presi in considerazione dalla ricerca sono riportate nella sezione iniziale del report; non si trovano quindi all'interno dei singoli capitoli a cui si riferiscono

- Emissioni ed assorbimenti di gas climalteranti
- Agricoltura convenzionale e biologica: performance ambientali ed economico-sociali
- Un focus sugli effluenti zootecnici
- Remunerazione dei servizi ecosistemici forniti dalle foreste***
- Inquadramento del settore agro-zootecnico lombardo***
- Inquadramento sullo stato delle foreste, dalla scala mondiale a quella locale***

- Mappa delle politiche relative ai temi/settori trattati***
- Mappa degli attori che hanno interesse e/o impatto sui temi/settori trattati***
- Mappa delle ricerche sulla transizione climatica del settore agro-zootecnico e forestale***

- Il riutilizzo dei rifiuti organici della città: introduzione
- La frazione organica dei rifiuti solidi urbani***
- I fanghi di depurazione delle acque***

- Bioeconomia circolare: un inquadramento teorico

- Il suolo: componente essenziale degli ecosistemi terrestri
- Caratteristiche e problematiche dei suoli: panoramica dalla scala mondiale a quella locale***

- Emissioni e assorbimenti del settore agro-zootecnico e forestale: panoramica dalla scala mondiale a quella locale***

I DIECI MESSAGGI PRINCIPALI

La ricerca è finalizzata a fornire raccomandazioni di policy indirizzate a Regione Lombardia in relazione a due tematiche principali: a) gli impatti ambientali (principalmente climatici) e socio-economici derivanti dagli usi del suolo agricolo e forestale e dalle attività zootecniche; b) le potenzialità e gli ostacoli relativi all'utilizzo circolare della frazione organica dei rifiuti solidi urbani e dei fanghi di depurazione delle acque civili.

1. Dall'analisi del contesto lombardo emergere un quadro molto complesso di soggetti, interessi, tematiche e azioni che ruotano intorno al sistema agro-forestale: più di 200 attori, oltre agli agricoltori e allevatori direttamente impegnati nella produzione, e circa 100 politiche. La mappatura delle politiche ha permesso di evidenziare l'interconnessione tra la scala mondiale, europea, nazionale e locale: nonostante la numerosità dei provvedimenti normativi, sono stati individuati solo 33 target quantitativi (e quindi misurabili) e, di questi, meno della metà sono cogenti. Negli ultimi tre anni, rispondendo all'urgenza del tema, la produzione di policy si è intensificata, in particolare quella europea, stimolando a cascata lo sviluppo di policy alle altre scale.
2. Dalle 19 ricerche analizzate - selezionate tra le più recenti secondo un criterio di scala perlopiù regionale e applicabile al contesto della Pianura Padana - emergono i temi più rilevanti: a) in relazione all'agricoltura, il tema del sequestro di carbonio e l'impronta carbonica dei processi produttivi aziendali, in particolare per quanto riguarda l'agricoltura conservativa; risultano invece poco presenti analisi sui confronti tra agricoltura convenzionale e agricoltura biologica; b) in relazione alle foreste, lo studio della capacità di stoccaggio del carbonio di diversi ecosistemi forestali e lo studio della relazione tra gestione forestale e sequestro di carbonio.
3. Dal confronto tra i sistemi produttivi (vegetali e animali) biologici e convenzionali si ricava che il bilancio del carbonio (riferito alla superficie agricola utilizzata o alle unità di bestiame) risulta sempre a favore dei sistemi biologici, in termini di minori emissioni di GHG (per il riso e per gli allevamenti), maggiori assorbimenti di CO₂ (per le coltivazioni permanenti), assorbimenti invece che emissioni (per le colture annuali).

4. Dal confronto tra i sistemi produttivi vegetali biologici e convenzionali si ricava che la sostenibilità economica è prevalentemente a favore del biologico, quella sociale (impiego di lavoro) è prevalentemente a favore del convenzionale (il convenzionale impiega più lavoro del biologico). Quest'ultimo dato è probabilmente interpretabile alla luce del fatto che il biologico da un lato richiede meno trattamenti e dall'altro, nello specifico in Pianura Padana, ha lo stesso profilo tecnologico del convenzionale. Bisogna però rimarcare due questioni: 1) per i prodotti a maggior valore aggiunto (per esempio le ortive) il biologico usa più lavoro del convenzionale; 2) dove si rileva per il biologico un minor utilizzo del lavoro, questo comunque risulta percentualmente meno consistente rispetto al guadagno percentuale in termini di decarbonizzazione (minori emissioni o maggiori assorbimenti). Dal confronto tra i sistemi produttivi animali biologici e convenzionali si ricava che la sostenibilità economica è prevalentemente a favore del convenzionale, quella sociale prevalentemente a favore del biologico.
5. Gli allevamenti bovini e suini - che caratterizzano il sistema agricolo della pianura padana lombarda per rilevanza numerica (capi per azienda e densità territoriale), produttiva ed economica - rappresentano la fonte principale delle emissioni agricole di GHG alla scala regionale (soprattutto di metano e di protossido di azoto). Le emissioni degli allevamenti derivano principalmente dagli effluenti zootecnici (che oggi sono per la maggior parte in forma di liquami, quattro volte più rilevanti in termini di volume rispetto ai letami). Nonostante il rilevante profilo emissivo, gli effluenti hanno un importante potenziale in termini di nutrienti, carbonio immesso nel suolo (sostanza organica) e produzione di biogas. La questione degli effluenti è complessa e molto normata per quanto riguarda impatti diversi rispetto alla transizione climatica (inquinamento acque sotterranee e superficiali e emissioni di NH₃ in atmosfera, precursore di PM₁₀). Molteplici variabili inerenti la gestione degli effluenti (dalla stabulazione allo spandimento in campo) influiscono sulle emissioni: se oggetto di buone pratiche, ognuna di queste variabili è in grado di contribuire alla riduzione sia delle emissioni di ammoniaca sia di quelle di gas climalteranti.
6. Le raccomandazioni di policy per Regione Lombardia relative al settore agricolo si muovono nell'ambito del sostegno alle pratiche sostenibili (es. tramite finanziamenti PAC), alla formazione e all'integrazione tra il mondo della ricerca e quello degli agricoltori/allevatori. In particolare, il messaggio rilevante che informa tutte le raccomandazioni di policy è quello della ricostruzione della circolarità nell'ambito delle singole aziende agricole e del sistema agricolo in Pianura Padana, in quanto la linearità della produzione ha dimostrato la creazione di effetti distorsivi rilevanti sia sul mercato sia per la salute di comunità ed ecosistemi. Si suggerisce quindi un'adozione diffusa dell'approccio agroecologico che va dall'aumento della biodiversità a quello della SAU biologica (ancora estremamente ridotta in Lombardia), seguendo le indicazioni della strategia europea Farm to Fork.

7. In Lombardia la filiera del legno non raggiunge i livelli di elevata specializzazione che caratterizzano le regioni altamente performanti dell'arco alpino (Alto Adige, Austria, Slovenia). La funzione delle foreste può essere quindi maggiormente legata alla fornitura di servizi ecosistemici (SE). La mappatura dell'offerta dei SE, la loro quantificazione biofisica ed economica e la possibilità di associarli ad uno strumento di remunerazione (Pagamenti per i Servizi Ecosistemici/PES) permettono di coordinare la protezione dell'ambiente e lo sviluppo socioeconomico regionale. La mappatura dell'offerta dei servizi ecosistemici (sia quelli forniti dalle foreste che quelli più in generale forniti dalle diverse coperture e usi del suolo) mostra come tali servizi siano presenti maggiormente nelle zone montane e lungo le aste dei fiumi (a testimonianza del fatto che le foreste sono riconosciute come i principali fornitori dei SE) e lontano dalle zone urbanizzate, dove la domanda è invece maggiore. La stima del valore economico dei servizi analizzati raggiunge valori molto elevati (se paragonati per esempio ai valori della sola selvicoltura). Le proposte di schemi di PES sono principalmente pubblico-privato, con Regione Lombardia prevalentemente nel ruolo di intermediario, ma anche di acquirente (tramite fondi PAC).
8. Il riciclo di FORSU (frazione organica dei rifiuti solidi urbani) e fanghi di depurazione delle acque reflue civili è strategico sia per la salute del suolo sia in relazione alla decarbonizzazione. Infatti si caratterizza per la generazione di prodotti (compost, biogas e biometano) che possono essere reimmessi in ciclo nelle attività ordinarie, sostituendo prodotti omologhi di sintesi o combustibili fossili e, nel caso del compost, contribuendo a migliorare le caratteristiche dei suoli e dei servizi ecosistemici ad essi associati. Il suolo sta perdendo sostanza organica e per assicurare la produzione agricola necessita di sempre maggiori quantità di fertilizzanti di sintesi, la cui produzione è energeticamente dispendiosa, ha un costo crescente, si basa su nutrienti di origine fossile in via di esaurimento e produce emissioni climalteranti. Anche al fine di garantire sicurezza alimentare è quindi vitale riutilizzare le matrici organiche, perché questa è l'unica soluzione che consente di recuperare tutti gli elementi preziosi in esse contenuti.
9. Le principali raccomandazioni di policy che riguardano la FORSU sono il miglioramento della qualità della raccolta differenziata (che dipende dalla metodologia di raccolta, dalla comunicazione verso gli utenti, dallo sviluppo tecnologico degli impianti di trattamento), il riciclo efficiente del rifiuto (legato ad una corretta stima dei fabbisogni impiantistici e alla realizzazione, distribuzione e rinnovo degli impianti di trattamento) e la valorizzazione dei prodotti del riciclo (anche con lo strumento del Green Public Procurement, che può fornire un importante sostegno al mercato del compost).
10. Le principali raccomandazioni di policy che riguardano l'utilizzo agricolo dei fanghi di depurazione delle acque reflue civili sono la prevenzione della contaminazione delle acque stesse con sostanze dannose per

l'ambiente e per la salute (con particolare attenzione agli inquinanti emergenti), l'adeguamento della legislazione nazionale alle nuove conoscenze scientifiche, l'apporto dei fanghi al terreno solo dopo adeguata stabilizzazione. In generale, per evitare che si generino situazioni che rendano i fanghi inutilizzabili, bisogna puntare ad una corretta informazione e formazione e all'integrazione territoriale (prossimità e autosufficienza) delle tecnologie che trattano rifiuti (con incenerimento residuale e discarica solo per il rifiuto che esita dallo schema complessivo).

RACCOMANDAZIONI DI POLICY

La ricerca ha preso avvio dalla necessità della decarbonizzazione di tutti i settori regionali per rispondere all'emergenza climatica attraverso l'attuazione di strategie, politiche e normative a livello nazionale, internazionale ed europeo per adempiere agli impegni di riduzione delle emissioni di gas serra e di adattamento al cambiamento climatico. L'Unione Europea mira infatti a diventare climaticamente neutra con un'economia con zero emissioni nette di gas climalteranti entro il 2050. Questo obiettivo è al centro del Green Deal europeo e in linea con l'impegno dell'UE nei confronti di un'azione globale per il clima ai sensi dell'Accordo di Parigi (vd. Fit for 55, Legge climatica europea, etc). La decarbonizzazione, sebbene cruciale, non è l'unica lente con cui guardare al futuro del settore agroforestale regionale qui analizzato, in ragione della complessità del sistema e delle numerose interazioni del cambiamento climatico con gli altri grandi temi socio-ecologici, tra cui il declino della biodiversità, il degrado del suolo e del territorio, l'inquinamento, la carenza idrica, la salute delle comunità, l'equità e la giustizia sociale, etc. Ad esempio, se si considerano le interazioni biodiversità-clima-società, è importante esaminare come i collegamenti tra le decisioni politiche e i risultati si sviluppino nel tempo e come agiscano al di là dello specifico contesto spaziale. Le proprietà del cosiddetto *tele-coupling*, vale a dire gli effetti che si generano fuori dal contesto (distanti, diffusi e ritardati), sono comuni alle interazioni sopra citate e possono portare a risultati imprevisti. A titolo esemplificativo, se l'Italia si ponesse un target ambizioso di mitigazione dell'attuale livello nazionale di emissioni di gas-serra del settore agricolo, specificatamente di 20 milioni di tonnellate di CO₂eq all'anno, le politiche e le misure per raggiungere tale obiettivo potrebbero causare un aumento delle importazioni di alimenti da Paesi terzi, associate comunque ad emissioni a livello globale. In questo quadro l'aumento del sequestro di carbonio da parte dei suoli agricoli e dei sistemi agro-forestali risulta uno strumento significativo e da supportare, tra l'altro rappresentando una potenzialità che solo l'agricoltura e le foreste hanno (rispetto agli altri settori economici che solitamente possono avere ruoli nell'assorbimento solo con sofisticate tecnologie e alto dispendio di energia). Sono molteplici i documenti europei che vanno nella direzione della promozione del sequestro di carbonio (es. Strategia tematica sul suolo, Manuale tecnico e comunicazione sui sequestri di carbonio) ed è in fase di adozione la proposta di Regolamento sulla certificazione della

rimozione del carbonio, che potrebbe risultare anche un'occasione di sviluppo di nuove forme di redditività per le aziende agricole. Il sequestro di carbonio va considerato come uno dei tanti servizi ecosistemici che la biodiversità è in grado di esprimere rispetto alle società umane. Il ripristino di diversi ecosistemi con un elevato potenziale di stoccaggio del carbonio potrebbe migliorare la biodiversità in tempi relativamente brevi, mentre i benefici del sequestro del carbonio potrebbero essere realizzati solo su scale temporali più lunghe. Anche per tale motivo, il tema della biodiversità risulta cruciale per il futuro, soprattutto per quanto riguarda i sistemi agro-forestali.

METODO PER L'INDIVIDUAZIONE DELLE RACCOMANDAZIONI DI POLICY

L'individuazione delle indicazioni di policy rivolte a Regione Lombardia è stata realizzata tramite analisi originali (nel caso del settore agro-zootecnico le analisi RICA/EX-ACT e nel caso del settore forestale la quantificazione dei servizi ecosistemici), ricerca documentale (documenti, articoli, fonti normative, letteratura grigia) ed interviste ad esperti. Sono state inoltre realizzate le mappature delle policy esistenti (analizzate circa 200 policy alle varie scale, da quelle globali a quelle locali), delle ricerche esistenti e degli attori. Le proposte di policy emerse durante il lavoro sono state oggetto di confronto continuativo con il Comitato Scientifico della ricerca.

Per agevolare la lettura, le indicazioni di policy relative a tutti i temi trattati sono riportate in questa sezione iniziale del report (non si trovano quindi all'interno dei singoli capitoli a cui si riferiscono): per ogni indicazione di policy, sono sinteticamente indicate le motivazioni, ovvero i collegamenti con i risultati della ricerca e le fonti principali che spiegano il criterio secondo il quale la raccomandazione è stata selezionata.

RACCOMANDAZIONI DI POLICY

In generale, poiché le singole questioni trattate nel report da un lato toccano diversi temi e dall'altro sono strettamente interconnesse tra loro, si ritiene indispensabile adottare gli approcci *whole of government* e *whole of society* che stanno emergendo come sempre più rilevanti e urgenti a livello internazionale. Si tratta di modalità prima di tutto di lavoro: non solo diversi ministeri, amministrazioni e agenzie pubbliche devono lavorare insieme per fornire soluzioni comuni, ma è necessario che in questo processo siano coinvolte tutte le parti interessate (la società civile, il mondo accademico, i media, il settore privato,...). Tali approcci, nati per affrontare i temi della salute (Ortenzi et al., 2022), riguardano tutte le questioni più rilevanti in questo momento storico, la transizione climatica, il cambiamento trasformativo per arrestare e invertire il declino della biodiversità, il rapporto tra scienza e società, le disuguaglianze, per raggiungere gli obiettivi dell'Agenda 2030.

La prima raccomandazione di policy è comune a tutti i temi trattati nella ricerca, per questo le viene assegnato il numero zero.



o) Promuovere e facilitare la creazione di una Alleanza lombarda per il clima e la transizione equa

Facilitare e supportare un dispositivo di governance (comitato, consiglio, etc) che coinvolga il mondo scientifico, produttivo, finanziario, istituzionale e del Terzo settore, finalizzato a condividere dati e scenari e a supportare la Regione nell'assumere decisioni e sviluppare azioni sinergiche per la transizione climatica equa. I contesti da cui partire per l'azione proposta sono: il Protocollo lombardo per lo Sviluppo Sostenibile (e i Forum annuali collegati), il Patto per lo Sviluppo dell'economia, del lavoro, della qualità e della coesione sociale (RL).

Motivazioni: La transizione climatica equa è una sfida complessa e ampia che richiede l'intelligenza collettiva e il lavoro sinergico di tutti gli attori. Per questo, "negli Stati più impegnati a contrastare i cambiamenti climatici (Gran Bretagna e Svezia), si è diffuso il modello dei Comitati (o Consigli) per il clima e l'ambiente, organi indipendenti, composti da ricercatori e altri esperti, in dialogo continuo con le istituzioni politiche, i rappresentanti dei territori, le associazioni ambientaliste. Il loro compito è quello di 'mediatori culturali', per tradurre le acquisizioni della ricerca scientifica ambientale in indicazioni utili alle istituzioni, alle imprese, alle famiglie" (Comitato Paritetico Consiglio Regionale, 2021).

Di seguito le indicazioni di policy divise per settore/tema trattato.

AGRICOLTURA E ALLEVAMENTI

Le indicazioni di policy sotto elencate sono suddivise in aspetti trasversali, condizioni abilitanti e aspetti climatico-ambientali ed economico-sociali. Nell'ambito delle indicazioni in generale non sono stati trattati temi già oggetto di policy e di notevole interesse della Regione Lombardia (es. agricoltura di precisione), considerando il quadro già ricco e sviluppato a disposizione.

Aspetti trasversali

- Promuovere forme di governance territoriale integrata e valorizzare quelle esistenti**
 - Promuovere, facilitare e finanziare adeguatamente la diffusione di strumenti di governance territoriale integrata a livello locale al fine di connettere il mondo agricolo-rurale e quello urbano (es. bando per supportare la creazione di Food Policy a livello comunale o sovracomunale).
 - Mantenere e sviluppare ulteriormente le forme di integrazione di programmi e azioni con focus sovrallocale con la finalità sopra indicata, grazie alle forme di programmazione negoziata e sulla distrettualità già a disposizione di Regione Lombardia (es. AQST, Distretti agricoli, Distretti del cibo).

Motivazioni: Numerosi studi e indagini sottolineano la "distanza" tra il mondo agricolo e rurale e quello urbano. Occorre quindi promuovere forme di

"avvicinamento" (culturale, fisico, di collaborazione, etc) e strumenti di governance per far conoscere l'agricoltura lombarda "da vicino". La proposta permette inoltre di creare reti per supportare le filiere dei prodotti direttamente collegate ai consumi locali e urbani (ad esempio, tramite ristorazione collettiva pubblica e privata). Le Food Policy sono strumenti ormai diffusi a livello internazionale e hanno dimostrato l'efficacia in tale direzione. Gli AQST (es. Milano Metropoli Rurale, Lago di Varese) e i Distretti agricoli permettono di integrare fondi in piani di azione che uniscono sforzi e obiettivi pluriennali nell'ottica di una visione comune a lungo termine. Poiché la ex-Misura 16.10 del Programma di Sviluppo Rurale/PSR non è più a disposizione del Complemento per lo Sviluppo Rurale, questa necessità è ancora più rilevante.

2. Elaborare e divulgare scenari di medio-lungo periodo integrati per la transizione climatica ed ecologica dell'agricoltura lombarda e stabilire target ambiziosi al 2030 e al 2050, consistenti con gli impegni nazionali per il raggiungimento degli impegni dell'Accordo di Parigi e del Kunming-Montreal Global Biodiversity Framework.

- Coinvolgere l'articolato e importante mondo universitario lombardo (compresi gli esperti non accademici) insieme agli agricoltori (associazioni di categoria ma anche singoli agricoltori e distretti agricoli) al fine di costruire scenari di medio-lungo periodo sull'evoluzione dell'agricoltura lombarda integrando le varie elaborazioni settoriali, economiche, ambientali, etc (es. Programma Regionale Energia, Ambiente e Clima/PREAC, Piano Territoriale Regionale/PTR, Piano Regionale degli interventi per la Qualità dell'Aria/PRIA, Strategia Regionale sullo Sviluppo Sostenibile, etc).
- Divulgare i contenuti di tale operazione per poter condividere la visione e le azioni necessarie per affrontare le problematiche che ne emergono.
- In base ai risultati di questo percorso, stabilire target qualitativi e quantitativi ambiziosi al 2030 e al 2050 dei miglioramenti delle performance climatico-ambientali, sociali e di redditività (obiettivi poi da monitorare annualmente).

Motivazioni: L'attività di scenarizzazione e quindi di previsione e programmazione sul lungo periodo è un gap rilevato da molti esperti nella cultura italiana e pertanto nelle governance a tutti i livelli territoriali e tematici. Il quadro delle policy regionali è molto ricco e complesso ma non fornisce nella maggior parte dei casi uno scenario soprattutto per quanto riguarda l'agricoltura e le implicazioni sociali, economiche e ambientali-climatiche e i relativi target di miglioramento.

Condizioni abilitanti

3. Promuovere lo scambio tra mondo della ricerca e mondo agricolo e la divulgazione dei risultati della ricerca

- Individuare contesti istituzionali e tavoli di lavoro continuativi per permettere lo scambio tra ricercatori ed esperti con agricoltori e tecnici agronomi, facilitati dagli Uffici regionali, finalizzati a far emergere problematiche concrete, aspettative da parte dei protagonisti dell'agri-



coltura e a discutere delle soluzioni in modo condiviso.

- Supportare la produzione di materiali divulgativi in grado di rendere comprensibili e applicabili i risultati delle ricerche. Contesti per lo sviluppo dell'indicazione di policy sono: le misure dedicate al trasferimento delle conoscenze/AKIS del Complemento per lo Sviluppo Rurale (2022) e i Programmi regionali strategici per ricerca e innovazione. Potrebbe essere anche disegnato al proposito un ulteriore progetto speciale da aggiungere ai 16 già definiti nel PTR (2018) oppure da inserire nell'aggiornamento del Programma Regionale di Sviluppo o nel Documento di Economia e Finanza regionale.

Motivazioni: Da più parti (es. Comitato Paritetico Consiglio Regionale, 2021) emerge la mancanza di stretta relazione tra il mondo della ricerca (numeroso, variegato, innovativo) e il mondo agricolo che tradizionalmente è caratterizzato da un sapere spesso poco codificato e ascoltato ma molto ricco e diffuso. I risultati delle ricerche spesso non sono pubblici, integrati e comprensibili o comunque direttamente concretizzabili nei contesti agricoli. Inoltre numerose banche dati regionali non sono ad accesso libero (SIARL, SISCO, Banca dati anagrafe allevamenti, etc): sebbene sia chiaro l'insito problema della privacy, si ritiene fattibile rendere i database consultabili almeno con dati aggregati o anonimi (Direttive EU in merito alla trasparenza). Nelle Strategie e Programmi per ricerca e innovazione (es. S3- Strategia di Specializzazione Intelligente per la Ricerca e l'Innovazione) emerge una particolare attenzione all'Agricoltura 4.0 che spesso non costituisce l'unica risposta per gli agricoltori e non risulta accessibile a tutti. Dalle valutazioni annuali sul PSR 2014-2020, esteso al 2022, infine, è emerso come sebbene siano diffuse le iniziative di formazione per gli agricoltori, queste riscuotano scarso successo di partecipazione. Anche in risposta a questa problematica, la proposta di policy cambia la prospettiva della formazione tradizionale, facendo riferimento alla cosiddetta "co-creazione della conoscenza", approccio promosso a livello europeo e, tra l'altro, uno dei principi chiave dell'agroecologia e del futuro degli agrosistemi secondo la FAO (HLPE, 2019).

4. Facilitare l'accesso ai bandi e supportare l'accompagnamento/assistenza tecnica per gli agricoltori

Individuare soluzioni per semplificare l'accesso ai bandi regionali (es. Complemento per lo Sviluppo Rurale, etc) insieme agli agricoltori e alle Associazioni di categoria (nell'ambito del ruolo che già svolgono di intermediazione e di supporto). Prevedere ad esempio strutture pubbliche (con personale e risorse dedicate) per l'assistenza tecnica agli agricoltori, soprattutto volta alla promozione delle pratiche agricole ecologiche e sostenibili (es. agricoltura e allevamento biologici, etc).

Motivazioni: Nonostante quanto enunciato, la nuova programmazione PAC, il Piano Strategico Nazionale relativo e di conseguenza il Complemento regionale risultano ancora molto complessi e non immediatamente comprensibili e di accesso per il mondo agricolo. Tra l'altro l'assistenza tecnica nello svolgimento dell'attività agricola (es. input per la fertilità, etc) risulta spesso appannaggio di enti privati che non hanno quindi una finalità di interesse pubblico. E' necessario quindi un intervento pubblico in tal senso.

Aspetti climatico-ambientali e socio-economici

5. Applicare le raccomandazioni della Strategia europea Farm to Fork

- La Strategia EU Farm to Fork (2020) disegna il futuro del comparto agroalimentare, non solo come settore economico ma anche in funzione della salute di ecosistemi e società. I target sono chiari e definiti:
- ridurre le perdite di nutrienti di almeno il 50%, garantendo nel contempo la fertilità del suolo; ciò porterà a una riduzione dell'uso dei fertilizzanti di almeno il 20 % entro il 2030;
- entro il 2030 almeno il 25% della superficie agricola dell'UE investita ad agricoltura biologica;
- entro il 2030 ridurre del 50% l'uso e il rischio complessivi dei pesticidi chimici e dei pesticidi più pericolosi.
- entro il 2030 ridurre del 50% le vendite di sostanze antimicrobiche per gli animali di allevamento.

L'occasione potrebbe essere la revisione complessiva della norma regionale "Testo unico agricoltura, foreste, pesca e sviluppo rurale" e ss. (2008/2014), già prevista nel PRS - Programma Regionale di Sviluppo XI Legislatura (2018).

Motivazioni: Assumere il quadro della Farm to Fork e applicarlo permette di avanzare su più fronti riguardanti l'agricoltura (dalla bioeconomia alla trasparenza rispetto ai cittadini), costituendo una bussola generale del settore primario lombardo. L'agricoltura regionale di pianura infatti dimostra in generale una limitata sostenibilità ambientale e sociale (un esempio macro è la procedura di infrazione europea della Direttiva Nitrati in corso dal 2018 in capo all'Italia) e quindi deve porsi obiettivi chiari e definitivi per aumentarla. La Strategia Farm to Fork inoltre prevede una serie di piani applicativi mirati agli obiettivi dichiarati: ciò significa che a breve le disposizioni dovrebbero diventare progressivamente cogenti (l'obiettivo sulla riduzione dei nutrienti, ad esempio, è già oggetto di una proposta di Piano d'Azione). Anticipare questi provvedimenti permette di preparare il settore ai cambiamenti futuri.

6. Promuovere e sostenere l'agroecologia, l'agricoltura rigenerativa e l'agroforestazione

Individuare competenze e risorse umane e finanziarie dedicate a promuovere, diffondere e applicare i cosiddetti *diversified farming system* (IPCC, 2022) con adozione di metodi agroecologici (agricoltura rigenerativa, agro-forestazione). I *diversified farming systems* sono "pratiche e paesaggi agricoli che includono intenzionalmente la biodiversità funzionale a più scale spaziali e/o temporali, al fine di mantenere i servizi ecosistemici che forniscono input cruciali all'agricoltura, come la fertilità del suolo, il controllo di parassiti e malattie, l'efficienza nell'uso dell'acqua e l'impollinazione" (Kremen *et al.*, 2012). Si tratta di un approccio ampio che coinvolge i sistemi agro-forestali (vd. anche indicazioni riguardanti gli allevamenti) necessario per ridurre l'instabilità del sistema agricolo e il relativo fabbisogno di input esterni, con i relativi costi economici e rischi di inquinamento (soprattutto in una fase di crisi energetiche e di materie prime sul commercio internazionale). Sebbene le tecniche



agroecologiche non siano ancora codificate a livello legislativo, l'avvio dei bandi sul Complemento per lo Sviluppo Rurale rappresenta un'opportunità per la proposta di policy. Potrebbero essere anche sviluppati progetti sperimentali integrando risorse tra Complemento, PNRR e risorse dedicate alla conservazione della natura (di competenza regionale es. Natura2000).

Motivazioni: L'urgenza del momento (crisi climatica, crisi della biodiversità, instabilità geopolitica ed economica globale) impone di considerare misure applicabili nel breve periodo. Sono da supportare tutte le forme di agricoltura sostenibile diverse da quella convenzionale, ovvero l'agricoltura biologica, biodinamica, rigenerativa, agroforestale, la permacultura, enfatizzandone gli elementi comuni piuttosto che le differenze ed evitando di indirizzare l'attenzione solo su un singolo modello. Sono numerose le ricerche internazionali che infatti affermano la necessità di far riferimento ai cosiddetti diversified farming systems e all'approccio agroecologico (Kremen et al., 2012) capaci di portare importanti risultati in termini di transizione climatica (IPCC, 2022). La pratica agroecologica è la chiave principale individuata dall'IPCC (2022; vd. anche Green Deal, 2019 e Farm to Fork, 2020) per il futuro dell'agricoltura. L'agroecologia permette di integrare l'agronomia e l'ecologia. Le azioni sono molteplici e numerosi sono i progetti e le ricerche che hanno dimostrato fattibilità e risultati in termini di mitigazione e anche di efficienza complessiva delle aziende. Tra queste si citano ad esempio: la diversificazione delle monoculture (sementi, forestazione, biodiversità); la riduzione dell'uso di prodotti di sintesi; la diminuzione o eliminazione delle arature (minimum o zero tillage) o comunque prevederle solo laddove vi sia necessità e in funzione delle caratteristiche specifiche dei suoli; protezione dei terreni, evitando di lasciare i suoli nudi (pacciamature, rotazione delle colture per mantenere la fertilità e controllare parassiti e infestanti, utilizzando le colture di copertura o cover crops come erba medica e leguminose che possono essere integrate nel suolo tramite il sovescio). Il Complemento per lo Sviluppo Rurale della Regione Lombardia (come il PSR precedente) prevede alcune delle misure sopra indicate (es. cover crops) ma dovrebbero essere inserite in una visione complessiva che comprenda una reale diversificazione del sistema agricolo di pianura. Infine è stato stimato che i sistemi agro-ecologici diversificati e di piccola scala a parità di risorse utilizzate producono da 2 a 4 volte meno sprechi rispetto ai sistemi agro-industriali (alcuni studi dimostrano che le filiere corte, biologiche, locali, riducono gli sprechi pre-consumo fino al 5% rispetto al 40% dei sistemi agroindustriali, Vulcano e Ciccacese, 2018).

7. Aumentare la SAU dedicata all'agricoltura biologica e il numero di allevamenti biologici

- Aumentare risorse economiche, formazione, ricerca e informazione specifiche sull'agricoltura biologica. Occorre in particolare sostenere gli agricoltori che sono intenzionati o che hanno già intrapreso questa pratica con supporti ad hoc (l'agricoltura convenzionale è supportata nella concretezza delle azioni in campo dalle aziende che commercializzano prodotti di sintesi).
- Attualmente la SAU regionale biologica è molto ridotta (5,9%): occorre quindi fissare il target almeno del 25% della SAU regionale biologica entro il 2027 (vd. Piano Strategico Nazionale PAC, 2022). Fissare un tar-

get specifico per quanto riguarda gli allevamenti biologici.

- Realizzare una campagna informativa sull'agricoltura biologica per supportare il consumo regionale dei relativi prodotti, ad esempio, coinvolgendo la ristorazione collettiva lombarda (scuole, ospedali, etc) che esprime una significativa richiesta di prodotti biologici, contabilizzata in 1.825 tonnellate/anno (Bocchi, Spigarolo, progetto Bioregione, 2015-2018, su dati 2011). Applicando i Criteri Minimi Ambientali, il Green Public Procurement e il Piano d'Azione Regionale per gli Appalti Verdi, la Regione potrebbe farsi promotrice di organizzazione di sistemi intercomunali per rifornire le mense con prodotti biologici locali (spesso l'obbligo di una percentuale biologica porta le mense ad approvvigionarsi da fonti extraregionali ed extranazionali per la scarsità e non continuità del rifornimento di biologico, con costi molto alti).

Motivazioni: Una maggiore diffusione dell'agricoltura biologica lombarda è auspicabile, fattibile (Comitato Paritetico Consiglio Regionale, 2021) e permetterebbe di rispondere maggiormente ai bisogni espressi rispetto ai suoi prodotti, senza ricorrere a fonti extra-regionali ed extra-nazionali. Le analisi condotte nella presente ricerca dimostrano la valenza positiva in termini di decarbonizzazione delle colture e degli allevamenti biologici, con un bilancio del carbonio sempre decisamente a favore dei processi produttivi biologici: questi ultimi rispetto a quelli convenzionali possono determinare, a seconda dei casi, minori emissioni di gas GHG, maggiori assorbimenti di CO₂, oppure assorbimenti al posto di emissioni. Le analisi sulla sostenibilità economica, ambientale (costi di acqua, energia, concimi e difesa) e sociale (impiego di lavoro) restituiscono risultati variabili a seconda del processo produttivo considerato. Nel caso per esempio dell'impiego di lavoro, bisogna rimarcare che nei processi produttivi biologici per i quali c'è una perdita percentuale in termini di lavoro, questa è minore rispetto al guadagno percentuale in termini di decarbonizzazione (per esempio, per il frumento biologico, si ha una quantità di lavoro impiegata pari all'84% e assorbimento di CO₂eq invece che emissioni); oppure, nei processi produttivi a maggior valore aggiunto (per esempio ortive) c'è sempre un maggior impiego di lavoro per il biologico.

8. Promuovere la ricerca e la conoscenza sul suolo e la sostanza organica

Soprattutto da parte degli agricoltori e dei tecnici agrari che li supportano. Il suolo e la dinamica della sostanza organica dovrebbero essere maggiormente indagati integrando in primo luogo le discipline pedologiche, agronomiche ed ecologiche ed evidenziando gli effetti sulla fertilità e sugli altri benefici che un suolo più ricco di sostanza organica (e quindi di carbonio) comporta per gli agricoltori e i cittadini. Prime azioni proposte in tal senso sono: campagna informativa sul suolo; analisi di percezione e conoscenza sul suolo da parte di agricoltori e tecnici agrari; incontri tra ricercatori e agricoltori (vd. punto dedicato).

Motivazione: Si segnala che in generale non sembra essere stato realizzato uno studio sulla conoscenza del suolo e delle dinamiche pedologiche degli agricoltori della pianura lombarda. Tutte le fonti analizzate fanno emergere la necessità di una conoscenza specifica del suolo in relazione ai vari aspetti della conduzione agricola.





9. Promuovere il sequestro di carbonio e sperimentare il carbon farming

- Sostenere con risorse economiche e con competenze dedicate gli agricoltori e i silvicoltori nell'aumentare il sequestro di carbonio nei suoli.
- Sviluppare sperimentazioni ad hoc (ad esempio nell'ambito della Banca della Terra istituita da Regione Lombardia).
- Realizzare una campagna sull'esempio dell'iniziativa francese 4x1.000 (vd. box, risulterebbe la prima Regione d'Italia ad adottare un'iniziativa innovativa in merito).
- Aggiornare la legge sul consumo di suolo, arrestando il fenomeno che è in continua crescita (Munafò, Ispra, 2022).

Motivazione: Il carbon farming è un tema di grande interesse sia per aumentare gli assorbimenti da agricoltura e silvicoltura con ricadute potenziali sulla redditività sia per aumentare la sostanza organica nei suoli, con evidente miglioramento di fertilità e sostenibilità dei suoli di pianura lombardi (che ne sono molto carenti, avendo un contenuto percentuale di Carbonio organico inferiore al 2%). Dal punto di vista dei rischi legati ai cambiamenti climatici, anche piccoli contributi allo stoccaggio di carbonio nei suoli o nelle biomasse stabili sono da considerare importanti, tanto più quanto maggiore è la loro diffusione entro un dato territorio (ERSAF, 2019). E' inoltre in fase di adozione da parte della Commissione Europea la Proposta per un Regolamento per la certificazione (volontaria) della rimozione del carbonio (23/03/2023: scadenza raccolta commenti) che imposterà il quadro normativo basato sui risultati dei certificati secondo criteri di qualità stabiliti (ad esempio, quantificazione e stoccaggio a lungo termine). In questo quadro, si segnala che l'agricoltura biologica permette di sequestrare 0,45 t/ha di carbonio all'anno (Cicarese, 2019). Infine, arrestare la crescita di consumo di suolo regionale permetterebbe di mantenere aree agricole e naturali potenzialmente finalizzate al sequestro di carbonio.



10. Supportare e aumentare gli allevamenti sostenibili (anche in relazione alla bioeconomia circolare)

Nb: Esistono già numerose policy virtuose in Lombardia volte a sostenere il riciclo degli effluenti di allevamento sottoforma di digestato, biogas e biometano (es. PREAC, 2022; Complemento per lo Sviluppo Rurale, 2022 etc) e a supportare azioni per limitare le emissioni (es. copertura di stoccaggi di liquame). Si elencano di seguito policy aggiuntive e/o considerate migliorative.

Aumentare le risorse economiche e il supporto per la transizione climatica dei sistemi di allevamento della pianura lombarda, che significa in sintesi "ricongiungere" le colture agli allevamenti e viceversa (Bevilacqua, 2023), attraverso il sostegno ad azioni finalizzate a:

- Affrontare la mitigazione del comparto zootecnico con un approccio territoriale di prossimità (vd. *land based approach* nel capitolo relativo alla sintesi delle ricerche, Chiriaco, Valentini, 2021), in quanto sistemico e in grado di considerare tutti gli aspetti importanti per la transizione della pianura lombarda (clima, biodiversità, paesaggio, etc).
- Continuare a supportare il miglioramento della nutrizione per diminuire la fermentazione enterica dei bovini (diminuendo la produzione di metano) e il carico di azoto negli effluenti, grazie alla ricerca già sviluppata in tal senso e, nello stesso tempo, ridurre l'approvvigionamento di

INIZIATIVA 4X1000

Durante la 21esima Conferenza delle Parti delle Nazioni Unite sui cambiamenti climatici a Parigi del 2015, è stata lanciata dal governo francese l'iniziativa 4 per 1000 "Suoli per la sicurezza alimentare e il clima", un piano d'azione volontario che mira a sostenere gli Stati e le parti interessate non governative nei loro sforzi per una migliore gestione del carbonio organico (SOC) nei suoli agricoli. La scelta del 4 per mille non è casuale, poiché se si riuscisse a raggiungere un tasso di crescita annuale del 4 ‰ (4 per mille) per gli stock di SOC nei primi 40 cm di terreno si compenserebbero le emissioni globali di gas GHG da fonti antropogeniche. Infatti il rapporto tra le emissioni annuali di GHG derivanti dall'uso di combustibili fossili (8,9 Gt di carbonio, ovvero 32,6 Gt di CO₂ eq, per il periodo 2004-2013) e la stima globale dello stock di SOC a 2 metri di profondità del suolo (2400 Gt) è del 4 per mille (8,9/2400). L'iniziativa mira quindi a dimostrare che l'agricoltura può offrire opportunità di mitigazione dei cambiamenti climatici, garantendo al contempo la sicurezza alimentare con metodi agricoli che soddisfano le condizioni locali (ad es. agroecologia, agroforestazione, agricoltura di conservazione).

(4p1000.org/)

mangimi da fonti extra-regionali ed extra-nazionali. Uno degli interventi in tal senso potrebbe essere aumentare gli incentivi al mantenimento dei prati e medicaia per il foraggiamento con foraggi verdi (freschi), laddove possibile.

- Realizzare la “chiusura dei cicli” in azienda o comunque in territori di prossimità riguardanti gli effluenti di allevamento ma anche tutti i reimpieghi di matrici organiche, sia di derivazione intermedia (es. scarti delle colture) nelle filiere produttive principalmente agricole, sia di altre derivazioni che possono essere reimmessi nei suoli agrari, se di qualità. E' importante individuare delle caratteristiche tipologiche delle matrici per valutare i processi di “chiusura dei cicli”, sia per evitare effetti “collaterali”, sia per massimizzare viceversa gli effetti positivi (vd. Cap. FORSU e Fanghi).
- Incentivare in particolare l'uso del letame per conseguire una corretta circolarità delle filiere produttive agricole. Un'azione in tal senso consiste nel premiare gli allevamenti condotti su paglia in grado di produrre letame di qualità e meno liquami (contribuendo contemporaneamente al benessere e alla salute animale e al recupero della paglia).
- Promuovere il compostaggio delle deiezioni tal quali e dei digestati al fine di ottenere una sostanza organica stabile (Frazzi, 2014).
- Prevedere un bilancio completo dell'azoto e del carbonio di tutti i cicli aziendali, da associare ad esempio ai calcoli di perdite di azoto già indicati nei Piani di Utilizzazione Agronomica (nel rispetto della Direttiva Nitrati, attualmente i calcoli vengono realizzati con un software in base a parametri standardizzati).
- Individuare strumenti per scardinare distorsioni di mercato, evitando che il biogas e il biometano entrino in competizione con lo spandimento di effluenti di allevamento (rilevanti per la ricostituzione della sostanza organica nei suoli) e con la chiusura dei cicli di prossimità. Interventi in tal senso sono: sostegno all'uso del letame di qualità per gli spandimenti; ridurre le distanze di trasporto di effluenti (in caso di cessione e acquisto); divieto dell'uso di colture agricole destinate ad alimentazione animale e umana per la produzione di biogas, prevedendo l'utilizzazione solo di scarti.
- Individuare strumenti per porre un limite alle dimensioni degli allevamenti e alla concentrazione territoriale dei capi (utilizzando ad esempio la concessione o meno di sostegni PAC sui terreni collegati all'azienda zootecnica).
- Anticipare la diffusione e l'applicazione del SQNBA (Sistema di Qualità Nazionale Benessere Animale, 2022) in attesa dei decreti attuativi. Il sistema di certificazione volontaria prevede anche l'analisi delle emissioni, oltre all'attenzione al benessere animale e la trasparenza (tramite etichettatura e tracciabilità).
- Sostenere in particolare con sistemi di premialità significativa le piccole realtà virtuose (es. pascolo o allevamento allo stato brado, mix di specie allevate, etc) e modelli di agricoltura circolare di piccola scala (anche in pianura) che rappresentano la soluzione ottimale di riequilibrio ecologico e climatico (vd. collegamento con l'indicazione di policy riguardante l'agroecologia).

Motivazioni: Gli allevamenti di bovini e suini hanno un ruolo importante in termini di produzione di metano e protossido di azoto, gas serra che hanno un potenziale di riscaldamento globale molto più rilevante dell'anidride carbonica (il settore agricolo è il principale emettitore di entrambi). La consistenza del settore zootecnico lombardo è inoltre non solo molto rilevante ma anche concentrata in alcune zone, soprattutto nella pianura lombarda orientale (vd. infrazione Direttiva Nitrati, ad esempio). Dall'analisi di studi e progetti esistenti sulla transizione climatica (che hanno prodotto anche Linee Guida ad hoc e strumenti di calcolo es. BAT-plus), si può evincere che le azioni già sperimentate per la riduzione dell'emissione di ammoniaca (precursore del protossido di azoto) sono nella maggior parte dei casi anche utili per la riduzione delle emissioni di gas serra. La gestione degli allevamenti e in particolare degli effluenti è una pratica molto normata ma potrebbe essere maggiormente sostenuta e promossa, soprattutto finalizzata a un buon equilibrio tra produzione di letami e di liquami. I letami rappresentano una risorsa stabilizzata cruciale per la sostanza organica nei suoli (nel 2011 erano utilizzati solo dal 30% delle aziende e la percentuale oggi è ancora più ridotta). La pratica del letame si è progressivamente ridotta in pianura padana e lombarda perché richiede lavoro (in particolare per spostare la lettiera nell'area di stoccaggio), soprattutto quando il numero di capi allevati è diventato fortemente intensivo. I liquami possono alimentare (insieme ad altre materie organiche di qualità, es. residui agricoli, FORSU, etc) digestori anaerobici con produzione di biogas (il PREAC contiene una scenarizzazione sulle potenzialità del biogas e i PSR – passato e attuale – li sostengono). Vanno però evitate distorsioni di mercato come ad esempio produzioni di colture ed effluenti finalizzate solo alla produzione di biogas. Infine, sono numerose le iniziative in corso a livello europeo sul metano (es. Strategia dell'UE per ridurre le emissioni di metano, 2021) e a livello internazionale (Global Methane Pledge, 2021) che potrebbero sfociare in provvedimenti cogenti sulla riduzione delle emissioni del metano da parte degli allevamenti. L'anticipazione di misure potenzialmente cogenti, migliorando le performance climatiche e ambientali, permette di preparare il settore ed evitare cambiamenti forzati in tempi brevi. Lo stesso discorso può essere valido anche per quanto riguarda in generale altri percorsi in atto: come previsto dal Green Deal, nel 2022 è stata presentata la proposta di revisione (Parlamento e Consiglio Europei, 2022) della Direttiva IED del 2010 che era volta a ridurre le emissioni industriali nocive, compresi i grandi allevamenti intensivi di suini e avicoli (con più di 40.000 posti pollame e con più di 2.000 posti suini da produzione - di oltre 30 kg - o con più di 750 posti scrofe), attraverso una migliore applicazione delle migliori tecniche disponibili (BAT). Tali soggetti devono richiedere l'Autorizzazione integrata ambientale (AIA) la cui gestione (anche dei controlli) è in capo alla Regione Lombardia con il supporto di ARPA. La proposta di revisione assume un approccio più integrato salute-ambiente: cerca anche di tutelare infatti la salute umana, promuovendo le valutazioni sanitarie nelle AIA con modalità analoga alla VIA (es. c'è richiesta a gestori di effettuare screening sanitari della popolazione attorno alle installazioni). Prevede inoltre che il riferimento autorizzatorio corrisponda ai limiti più stringenti delle BAT, l'allargamento delle prescrizioni della Direttiva agli allevamenti bovini (oltre i 300 UBA) e la riduzione della soglia di applicazione per gli allevamenti suini (300 UBA) e avicoli (250 UBA) ma anche una rinnovata disciplina di sistemi di compensazione e di semplificazione delle procedure. Si segnala tra l'altro che, sebbene la proposta di revisione sia stata accolta con molte



critiche da parte delle associazioni di categoria, è stata valutata complessivamente positiva dagli organi nazionali (Cagnoli, 2022). E' stato infatti stimato (e riportato nella stessa proposta) che i benefici economici per la salute e l'ambiente derivanti dalla riduzione delle emissioni di metano e ammoniaca ammontano ad oltre 5,5 miliardi di euro all'anno, 11 volte maggiori dei costi di conformità e amministrativi (risultati nell'analisi benefici-costi). Entro marzo 2023 saranno concertate con le Regioni e approvate le richieste d'aggiustamento rispetto alla proposta dal punto di vista dell'Italia. Infine, per quanto riguarda il riferimento alle piccole realtà virtuose e ai modelli di agricoltura circolare di piccola scala, si segnala che tra gli obiettivi della Strategia Nazionale per lo Sviluppo Sostenibile (2017, in fase di aggiornamento) si citano: incentivo alle politiche agricole, ambientali e sociali favorevoli all'agricoltura familiare; promozione degli interventi nel campo della riforestazione, dell'ammodernamento sostenibile delle aree urbane, della tutela delle aree terrestri e marine protette, delle zone umide, e dei bacini fluviali, della gestione sostenibile della pesca, del recupero delle terre e suoli, specie tramite la rivitalizzazione della piccola agricoltura familiare sostenibile.

11. Aumentare la biodiversità degli agro-sistemi della pianura lombarda
Promuovere e realizzare l'aumento della biodiversità (territoriale, agricola, pedologica, etc). Fissare obiettivi quantificabili e con tempistiche e monitoraggio ad hoc. Approvare la Strategia regionale per la biodiversità (attualmente sono state approvate solo le "Linee prioritarie", 2022).

Motivazione: La perdita di biodiversità nella pianura lombarda è stata progressiva nel tempo, con una serie di effetti gravi di riduzione di servizi ecosistemici che portano a un'erosione anche del valore economico sul lungo periodo. L'aumento della biodiversità quindi costituisce un elemento cruciale per il futuro dell'agricoltura. Numerosi sono i documenti internazionali che affermano ormai da anni questo concetto. Tra tutti, si cita il Global Biodiversity Framework, il programma che fissa obiettivi specifici e misurabili da raggiungere entro il 2030 per fermare la perdita di biodiversità (definito dall'ultima COP della Convenzione sulla Diversità Biologica, dicembre 2022, vd. box).

SETTORE FORESTALE

La ricerca si è concentrata sul tema dei servizi ecosistemici, proponendo l'introduzione di uno strumento di mercato che ne renda possibile la remunerazione (schemi di Pagamenti dei Servizi Ecosistemici), in particolare in relazione ai servizi di fornitura di acqua potabile, purificazione dell'aria/PM10, purificazione dell'acqua, sequestro di carbonio, impollinazione, protezione dall'erosione, ricarica della falda.

1. Riconoscere i PES come strumenti innovativi di gestione del territorio, per garantire la tutela e la conservazione del capitale naturale

Motivazione: Le foreste sono riconosciute come i principali fornitori di servizi ecosistemici (beni e servizi generati dagli ecosistemi per il benessere delle persone) quali per esempio la fornitura di beni strumentali (cibo, fibre, medicinali, resine,



AGRICOLTURA E BIODIVERSITÀ

La seconda parte della COP 15, la quindicesima Conferenza delle Parti per la Convenzione sulla Diversità Biologica, che si è tenuta dal 7 al 19 dicembre 2022 a Montreal ha definito il post-2020 Global Biodiversity Framework, una serie di obiettivi specifici e misurabili da raggiungere entro il 2030 per fermare la perdita di biodiversità (www.cbd.int/doc/c/abb5/591f/2e46096d3f0330b08ce87a45/wg2020-03-03-en.pdf).

In particolare due di questi possono essere soddisfatti con il contributo di un'agricoltura sostenibile:

- Obiettivo 3: garantire che almeno il 30% a livello globale delle aree terrestri e marine, specialmente le aree di particolare importanza per la biodiversità e il contributo che questa fornisce alle persone, siano conservate attraverso sistemi di aree protette gestiti in modo efficace ed equo, ecologicamente rappresentativi e ben collegati, e altre misure efficaci di conservazione area-based (OECM, other effective area-based conservation measures), integrate in più ampi paesaggi terrestri e marini. Le OECM, definite come "un'area geograficamente definita, diversa da un'area protetta, che è governata e gestita in modo da ottenere risultati positivi e duraturi a lungo termine per la conservazione in situ della biodiversità, con le funzioni e i servizi ecosistemici associati e, se del caso, i valori culturali, spirituali, socio-economici e altri valori rilevanti a livello locale", possono essere le aree agricole in cui viene fatta agricoltura sostenibile, largamente intesa.
- Obiettivo 12: aumentare la superficie, l'accesso e i benefici degli spazi verdi e blu per la salute e il benessere umano nelle aree urbane e in altre zone densamente popolate. Anche in questo caso, le aziende agricole urbane o periurbane condotte secondo pratiche sostenibili possono contribuire al raggiungimento di questo obiettivo.

acqua potabile, sequestro di carbonio), di servizi di regolazione (climatica, del ciclo dell'acqua e dei nutrienti, di riduzione del dissesto idrogeologico e del rischio di disastri naturali), di servizi relazionali (ricreativi, spirituali, mentali, etc). Tali beni e servizi sono spesso sconosciuti o sottovalutati sia dalla collettività sia dai decisori pubblici. Nell'ottica di migliorare la governance del capitale naturale (e delle foreste nello specifico) diviene quindi necessario contabilizzare i servizi ecosistemici e attribuire un valore economico anche a quelli privi di un mercato di riferimento (così da internalizzare costi e benefici dovuti all'utilizzo di tali servizi). Inoltre, l'introduzione di strumenti di mercato che ne rendano possibile la remunerazione, quali i PES (Pagamenti per i Servizi Ecosistemici) e/o altre forme di accordo volontario che prevedono il coinvolgimento degli attori, potrebbe contribuire alla regolare fornitura dei servizi ecosistemici e al raggiungimento degli obiettivi delle politiche inerenti alla transizione ecologica, ridisegnando un modello di governance in cui la tutela del capitale naturale (e delle foreste in particolare) diviene il fulcro delle politiche e delle strategie del territorio regionale. Infine, diverse politiche e programmi a livello mondiale, comunitario e nazionale sollecitano l'approccio dei servizi ecosistemici e l'impiego di strumenti finanziari innovativi quali i PES: Agenda 2030 per lo Sviluppo Sostenibile (target 15.9), Strategia Europea per la Biodiversità 2030, Strategia forestale dell'Unione europea, Legge 221/2015 (Disposizioni in materia ambientale per promuovere misure di green economy e per il contenimento dell'uso eccessivo di risorse naturali), Testo Unico in materia di foreste e filiere forestali.

IL RIUTILIZZO DI PROSSIMITÀ DEI RIFIUTI ORGANICI DELLA CITTÀ

Il settore del riciclo dei rifiuti organici (FORSU e fanghi, le due matrici considerate in questo report) è strategico sia per la salute del suolo (sempre più compromessa) sia in relazione alla decarbonizzazione. Infatti si caratterizza per la generazione di prodotti (compost, biogas e biometano) che possono essere reimmessi in ciclo nelle attività ordinarie, sostituendo prodotti omologhi di sintesi o combustibili fossili e, nel caso del compost, contribuendo a migliorare le caratteristiche dei suoli e dei servizi ecosistemici ad essi associati.

Di seguito le indicazioni di policy dal livello nazionale (inserito perché la Regione partecipa a tavoli di lavoro nazionali e può esercitare la sua influenza a partire dalla conoscenza dei problemi locali) a quello comunale.

Frazione organica dei rifiuti solidi urbani (FORSU)

1. Implementare la raccolta differenziata dei rifiuti organici

- Al fine di massimizzare i flussi di rifiuti destinati a riciclo, istituire un tavolo per la sorveglianza dell'effettiva attivazione delle raccolte differenziate dei rifiuti organici su tutto il territorio ancora non coperto dal servizio e per la verifica dell'efficienza complessiva dei servizi di raccolta attivati.
- Promuovere il compostaggio di comunità come soluzione per le aree più disperse.

Motivazioni: La FORSU è la quota più rilevante dei rifiuti raccolti in modo differenziato (nel 2020 in Italia costituisce il 39% del totale dei rifiuti differenziati e in Lombardia il 36%), la sua separazione è obbligatoria a livello nazionale dal primo gennaio 2022 ed è fondamentale per il raggiungimento dei target di riutilizzo e riciclo dei rifiuti urbani fissati dalla direttiva UE 2018/851 (55% in peso al 2025; 60% al 2030, 65% al 2035). Ci possono essere ancora territori non coperti dal servizio (nel 2020 la raccolta domestica dell'organico era attiva nell'80% dei Comuni) e territori nei quali il servizio può non risultare efficiente.

2. Migliorare la qualità della raccolta differenziata

- Sollecitare l'emanazione del decreto ministeriale previsto dall'art. 182-ter c. 7 del D.lgs 152/06 attraverso il quale "il Ministero dell'Ambiente e della tutela del territorio e del mare stabilisce livelli di qualità per la raccolta differenziata dei rifiuti organici e individua precisi criteri da applicare ai controlli di qualità delle raccolte, nonché degli impianti di riciclaggio di predetti rifiuti".
- Potenziare la comunicazione ai cittadini relativa alle corrette modalità di effettuazione della raccolta differenziata (anche in collaborazione con Biorepack).
- Attivare un servizio di monitoraggio costante e duraturo della qualità delle raccolte differenziate e politiche di riduzione delle impurità mediante campagne e interventi sia sul territorio che a livello impiantistico.
- Premiare, mediante azioni incentivanti, l'eco-design di manufatti compatibili con la filiera del riciclo organico (per esempio rifiuti, anche da imballaggi, compostabili dotati di schemi di certificazione, identificazione certa, tracciabilità dell'intera filiera, ecc.) e penalizzare manufatti non compatibili con il riciclo organico (ossia non aventi analoghe proprietà di biodegradabilità e compostabilità rispetto ai rifiuti organici, così come stabilito dall'art. 182-ter c. 6 del D.lgs 152/06);

Motivazioni: l'efficienza del riciclo della FORSU parte dalla realizzazione di raccolte differenziate di qualità (ogni processo produttivo si misura con il tema della purezza delle materie prime); la presenza di contaminazioni tra filiere diverse (la plastica non compostabile, in particolare come sacchetto, è il principale inquinante della FORSU) genera pesanti ripercussioni nella fase di riciclo dell'organico, con implicazioni energetiche e di perdita di risorse riciclabili (in un ciclo produttivo, per rimuovere 1 tonnellata di frazioni estranee presenti nei rifiuti organici si generano mediamente quasi 3 tonnellate di scarti). La qualità della raccolta dell'umido (oltre a dipendere molto dalla metodologia di raccolta) è legata alle campagne di comunicazione verso i cittadini e le utenze non domestiche (già dopo un tempo pari a 6 mesi dall'ultima campagna si nota un calo della qualità). Il monitoraggio costante è fondamentale per capire quali siano gli errori più frequenti ed intervenire di conseguenza.

3. Riciclare in maniera efficiente i rifiuti organici

- destinare a recupero di materia tutti i rifiuti organici raccolti, compresi i rifiuti vegetali di parchi e giardini, adottando misure di incentivazione alla promozione del compostaggio e dei processi integrati anaero-



bici-aerobici.

- prevedere forme di finanziamento agevolato (o cofinanziamento) per la realizzazione di impianti in aree dove esiste una effettiva carenza impiantistica;
- prevedere forme di finanziamento agevolato (cofinanziamento in toto o in parte) per il revamping di impianti esistenti a seguito dell'innovazione tecnologica o delle esigenze imposte dall'evoluzione della normativa;
- accelerare i procedimenti autorizzativi degli impianti (impegno assunto dal PNRR); assecondando la necessità di trasparenza e partecipazione costruttiva dei territori, è auspicabile un piano per l'adozione di iter autorizzativi rigorosi nella valutazione dei progetti, efficaci nella condivisione degli stessi con i territori e nel recepimento delle critiche o delle richieste di chiarimento, ma autonomi e rapidi nelle valutazioni;

Motivazioni: la chiusura del ciclo dei rifiuti organici si compie solo con l'effettiva collocazione al suolo degli ammendanti organici prodotti (riciclo di materia); i processi integrati anaerobico-aerobico combinano la produzione di biogas (ed eventuale upgrading a biometano) con la produzione di compost. Il processo di compostaggio, date le elevate temperature raggiunte, garantisce (oltre alla produzione di un ammendante organico di qualità, perchè stabile e humificato) una funzione di igienizzazione e di abbattimento degli agenti patogeni (importante anche per i rifiuti vegetali di parchi e giardini, dei quali si sottovalutano alcuni aspetti di impatto ambientale). L'efficienza nel riciclo dipende anche dagli impianti, che sono distribuiti sul territorio in modo non omogeneo e in diversi contesti sono da rinnovare (il riferimento è in particolare alla situazione nazionale, ma si ricorda la presenza in Lombardia di un grande impianto - Montello spa - che nel 2020 ha garantito il trattamento di 674.000 tonnellate di FORSU su un totale di 1,7 milioni di tonnellate trattate in Regione).

4. Valorizzare i prodotti del riciclo organico dotati di sistema di assicurazione della qualità

- prevedere un intervento strutturato (per esempio di derivazione dalla Politica Agricola Comunitaria) per finanziare attivamente (mediante la concessione di contributi diretti, sotto forma di credito d'imposta o in altre forme) politiche per il reintegro della sostanza organica nel suolo mediante l'utilizzo degli ammendanti organici derivanti dal riciclo dei rifiuti organici prodotti in accordo ad adeguati sistemi di garanzia e di assicurazione della qualità;
- sviluppare politiche attive per far funzionare lo strumento del Green Public Procurement (GPP) che dal 2009 comprende tra i suoi potenziali "acquisti verdi" anche il compost di qualità;
- stimolare, mediante crediti d'imposta, l'utilizzo di ammendanti compostati prodotti dal riciclo dei rifiuti organici in sostituzione di torbe e terricci torbosi che rappresentano materiali organici d'importazione e di estrazione;
- agevolare la creazione di substrati peat-free ("zero torba") per opere pubbliche, paesaggistica, impiego in ambito urbano, ecc.;
- prevedere forme di finanziamento per la valorizzazione dei prodotti

del riciclo organico (meccanizzazione della distribuzione, pellettizzazione, essiccazione, confezionamento, ecc.) anche stimolando formule come il contoterzismo agricolo.

- generare, a livello centrale e periferico, efficaci piani di comunicazione che promuovano concretamente l'utilizzo dei prodotti del riciclo organico mediante una corretta informazione agli utilizzatori, valorizzando anche la certificazione delle filiere produttive.

Motivazione: malgrado la collocazione al suolo delle oltre 2 milioni di tonnellate di ammendante compostato generate dalla trasformazione dei rifiuti organici in Italia sia in stretta relazione con il mantenimento (o ricostituzione) della fertilità dei suoli e con la lotta ai cambiamenti climatici, il valore del compost è ampiamente sottovalutato, a maggior ragione nell'attuale contingenza economica che vede un'impennata dei prezzi dei fertilizzanti. Considerando solo il valore economico associato ai macronutrienti presenti nel compost (azoto, fosforo, potassio), e trascurando il vero valore aggiunto associato al carbonio organico e agli effetti positivi del compost sulla fertilità del terreno, agli attuali costi, i proventi della vendita del prodotto dovrebbero superare i 150 milioni di euro all'anno, ma il reale giro di affari è stimato in circa 20 milioni.

L'auspicata sostituzione delle torbe dipende sia dal fatto che sono materiali di importazione sia dal fatto che le torbiere costituiscono habitat da conservare e proteggere (Proposta della Commissione Europea per una "Legge sul ripristino della natura", COM(2022) 304 final).

Fanghi di depurazione delle acque

Le indicazioni che seguono sono finalizzate al ritorno all'agricoltura di una sostanza organica quanto più priva di inquinanti, stabilizzata e parzialmente humificata.

In generale, per evitare che - in assenza di illeciti e all'interno di un quadro normativo chiaro - si generino situazioni che rendano i fanghi inutilizzabili (limiti normativi eccessivamente severi, opposizione da parte degli agricoltori o delle comunità locali, o anche l'auspicabile aumento dei terreni biologici), bisogna puntare ad una corretta informazione e formazione e all'integrazione territoriale (prossimità - anche per limitare il trasporto - e autosufficienza) delle tecnologie che trattano rifiuti, comprese l'incenerimento (che deve essere residuale e sempre più spinto verso il recupero della CO₂, ancora agli albori) e la discarica (che deve accogliere solo il rifiuto che esita dallo schema complessivo, ovvero sovvalli, inerti e ceneri).

1. Proibire a monte l'utilizzo di sostanze dannose per migliorare la qualità del fango

Motivazione: la qualità dei fanghi è totalmente definita dalle acque da cui provengono. La presenza di inquinanti nelle acque non è un tema che possa essere trattato esclusivamente dai gestori degli impianti di depurazione. Inoltre diversi inquinanti derivano da sostanze chimiche prodotte dalle utenze domestiche. Il riferimento deve quindi essere la "Strategia europea in materia di sostanze





chimiche sostenibili - Verso un ambiente privo di sostanze tossiche", elemento essenziale del Green Deal. Una riduzione dei carichi inquinanti nelle acque reflue riduce anche la necessità di trattamenti avanzati e ad alta intensità energetica.

2. Predisporre una strategia nazionale che formalizzi il legame tra depurazione delle acque, gestione dei rifiuti e produzione agricola

Motivazione: depurazione delle acque, gestione dei rifiuti e produzione agricola sono tre tematiche strettamente correlate (i fanghi di depurazione sono classificati come rifiuti e—come le acque depurate—vengono utilizzati in agricoltura) e la mancata formalizzazione di questo legame da un lato è causa di problemi (situazioni di impossibilità di utilizzo dei fanghi, come si è verificato in Lombardia nel 2018) dall'altro impedisce di cogliere opportunità e sinergie (per esempio la co-digestione anaerobica dei fanghi insieme ad altri rifiuti urbani o agro-industriali consente di aumentare le rese di produzione del biogas, ma richiede un iter amministrativo complesso).



3. Rivedere di conseguenza la legislazione nazionale in merito ai fanghi destinati all'agricoltura (Regione Lombardia partecipa ai tavoli per la revisione della 99/92)

- Revisione del limite per il parametro idrocarburi, da riferire alla sostanza secca e non al fango tal quale per evitare che il produttore di fanghi sia incentivato a diminuire l'efficienza del processo di disidratazione; revisione dei limiti relativi ai metalli pesanti.
- Estensione - per la caratterizzazione dei fanghi di depurazione - della ricerca agli inquinanti emergenti che ancora non vengono quantificati, in modo da stabilire parametri di riferimento per l'accertamento della qualità dei fanghi stessi previa verifica anche degli effetti ecologici e tossicologici su popolazioni ed ecosistemi (ecotossicità). In questa fase è importante puntare l'attenzione sui PFAS, un problema che sta emergendo su vasta scala
- Apporto al terreno di fanghi di depurazione solo a seguito di adeguata stabilizzazione, prevedendo allo scopo un trattamento obbligatorio in impianti dedicati.

Motivazioni: attualmente la legislazione nazionale (D.Lgs 99/1992) è datata (per esempio le concentrazioni di idrocarburi—non presenti nel D.Lgs 99/1992 - sono disciplinate dal Decreto Genova); è dunque importante adeguare la normativa alle nuove conoscenze tecnico-scientifiche in materia di sostanze inquinanti. Per evitare situazioni in cui, inserendo limiti troppo stringenti in relazione alla presenza degli inquinanti, si impedisce di fatto l'utilizzo dei fanghi, il legislatore dovrebbe sempre prendere in considerazione le caratteristiche del corpo recettore (così come è già previsto per il carico di nutrienti), sottolineando la quantità di fango ammissibile in un determinato contesto. Particolare attenzione va riservata agli inquinanti emergenti, quali per esempio interferenti endocrini (contenuti anche nei detergenti, nelle fragranze e in altri additivi dei prodotti dell'igiene personale e della cosmesi), PFAS, farmaci e loro metaboliti, residui di sostanze stupefacenti.

Il fango apportato al terreno in forma fresca (senza una adeguata stabilizzazione) ha un effetto fitotossico, mentre una volta sottoposto a trattamento di stabilizzazione

(digestione anaerobica o compostaggio), diviene una matrice organica ricca di nutrienti che può essere applicata come ammendante per mantenere e/o migliorare la produttività dei terreni e stimolare la crescita delle piante. È necessario individuare un parametro di riferimento rappresentativo del grado di stabilizzazione (per esempio l'indice respirometrico), che attualmente non è presente nella norma (il rapporto Solidi Volatili / Solidi Totali non è adatto per questa valutazione).

4. Previsione di un destino diversificato dei fanghi di depurazione, allargando le possibilità di destinazione ad usi diversi da quello agronomico (utilizzo di prossimità per ripristini ambientali: aree industriali dismesse, cave abbandonate, ecc.).

Motivazione: i fanghi possono essere utilizzati anche per recuperare terreni inquinati da composti organici tossici (aree industriali dismesse, cave abbandonate,...) tramite operazioni di bioremediation; bisogna sempre utilizzare una matrice intrinsecamente pulita, ma rispetto all'impiego agricolo è possibile utilizzare una matrice che non sia perfettamente stabilizzata. In merito, Regione Lombardia con il d.d.u.o. n. 6665 del 14 maggio 2019 ha introdotto una distinzione tra "fanghi idonei", con limiti definiti dalla normativa nazionale, e "fanghi di alta qualità" con limiti più restrittivi; attualmente però è una distinzione che non trova riscontro in differenze gestionali tra le due categorie. Regione Lombardia dovrebbe fare chiarezza in merito, determinando lo spettro di utilizzazione per le due matrici (per esempio riservando ad utilizzo agricolo solo i "fanghi di alta qualità" e inviando a ripristino ambientale gli altri).

5. Introdurre tra le buone pratiche agricole anche regole specifiche per l'attività di spandimento

Motivazioni: Le modalità di spandimento dei fanghi hanno effetto sulle emissioni di ammoniaca e di conseguenza sulle maleodorazioni. Regione Lombardia con il d.g.r. 6 giugno 2016, n. X/5269 ha regolamentato le modalità di movimentazione e spandimento dei fanghi.

6. Incrementare i test di ecotossicità in campo per la verifica degli effetti prodotti dall'uso prolungato dei fanghi R10 destinati allo spandimento

Motivazioni: la valutazione dell'ecotossicità su matrici fertilizzanti complesse senza considerarne l'effettivo uso e dosaggio nel suolo non ha fondamento scientifico; risulta utile la comparazione rispetto ai suoli soggetti all'emendamento con altre matrici organiche (reflui zootecnici o altri fertilizzanti).

7. Regolamentare le forme innovative di depurazione delle acque e trattamento dei fanghi finalizzate specialmente al recupero delle sostanze nutrienti con particolare riferimento al fosforo
8. Creare condizioni di mercato per fosforo e azoto recuperati dai fanghi di depurazione, incentivando l'uso di questi elementi rispetto a quelli apportati con concimi di sintesi
9. Potenziare la ricerca e il supporto a progetti industriali innovativi volti a recuperare dai fanghi di depurazione incompatibili per l'impiego in



agricoltura, prodotti ad elevato valore aggiunto per specifiche applicazioni industriali (per esempio acidi humici).

Motivazioni: Il recupero di materia è anche un tema di innovazione, poiché si tratta di studiare processi industriali economicamente convenienti per estrarre specifici prodotti, quali chemicals organici come biopolimeri e cellulosa o nutrienti come il fosforo. Per quest'ultimo in particolare l'orientamento sembra essere verso il recupero dalle ceneri di combustione, ma l'incenerimento del fango è da valutare attentamente, sia per il basso potenziale calorico (si tratta infatti di una sostanza costituita prevalentemente da acqua), sia per la presenza di metalli pesanti (critici per le emissioni degli impianti di incenerimento in atmosfera). Molte delle soluzioni allo studio richiedono investimenti, per i quali è necessario un quadro normativo certo e stabile.



10. Incoraggiare le tecnologie che comportano una minore produzione di fanghi

Motivazione: i fanghi sono rifiuti, pertanto è importante minimizzarne la produzione, che negli ultimi 10 anni ha continuato a crescere e presumibilmente continuerà a farlo, come effetto di due tendenze contrastanti: il miglioramento da un lato dei processi di depurazione (ma anche il completamento dei servizi di collettamento e depurazione, con conseguente maggiore produzione di fanghi) e dall'altro delle tecnologie di riduzione del volume dei fanghi (disidratazione più efficiente, recupero della cellulosa,...)



11. Veicolare le informazioni presso operatori tecnici (gestori degli impianti di depurazione, agricoltori), per incentivare un uso corretto dei materiali; promuovere azioni verso le comunità interessate (momenti di condivisione delle informazioni, raccolta delle segnalazioni dai territori).

Motivazioni: il tema dell'utilizzo dei fanghi di depurazione è molto tecnico e controverso, è quindi necessario un lavoro di informazione che sia alla portata di tutti i soggetti coinvolti e che supporti anche nella prevenzione di possibili illeciti.

EMISSIONI ED ASSORBIMENTI DI GAS CLIMALTERANTI

Il comparto agro-zootecnico e forestale nel suo complesso è un settore target importante sia per la mitigazione sia per l'adattamento ai cambiamenti climatici, con notevole significato ambientale, ma anche socio-economico. È infatti sia fattore di impatto sui cambiamenti climatici sia oggetto degli stessi, nell'ambito di un sistema climatico complesso e dinamico. Il settore in oggetto inoltre risulta essere sia parte del problema sia delle possibili soluzioni: da un lato genera emissioni di gas serra, dall'altro può assorbirle, se gestito in modo sostenibile, grazie all'attività di fotosintesi e alla biodiversità (anche quella dei suoli, importante *sink* di carbonio) (Chiriaco, Valentini, 2021).

IL RUOLO DEL SETTORE AGRO-ZOOTECNICO NELLA MITIGAZIONE DEL CAMBIAMENTO CLIMATICO

In Italia il settore agro-zootecnico contribuisce alla maggior parte delle emissioni di metano (CH_4) e protossido d'azoto (N_2O). Il relativo potenziale in termini di riscaldamento globale (*Global Warming Potential - GWP*), valutato su un orizzonte di 100 anni, è 27 volte per il CH_4 e 273 volte per il N_2O maggiore rispetto a quello della CO_2 (valori utilizzati come fattori di conversione di CH_4 e N_2O in CO_2eq , IPCC, 2022). Pertanto, oltre alla CO_2 anche le emissioni di CH_4 e N_2O sono prese in considerazione dall'Accordo di Parigi (UNFCCC, 2015; JRC, 2017).

Il CH_4 si produce quando la sostanza organica si degrada in un ambiente povero di ossigeno. È quindi prodotto:

- principalmente dalla fermentazione enterica dei ruminanti poligastrici allevati ossia bovini, bufali, pecore e capre; processo che dipende da diversi fattori quali per esempio la qualità e quantità di mangime consumato e il tenore proteico (CMCC, ISMEA, 2018);
- in secondo luogo dalla fermentazione anaerobica della materia organica, sia quella presente nei reflui zootecnici perché non digerita dai capi in allevamento, sia quella presente nelle coltivazioni di riso in sommersione.

La quantità di CH_4 generata dai reflui zootecnici è influenzata dallo specifico sistema di gestione che determina anche l'entità delle condizioni

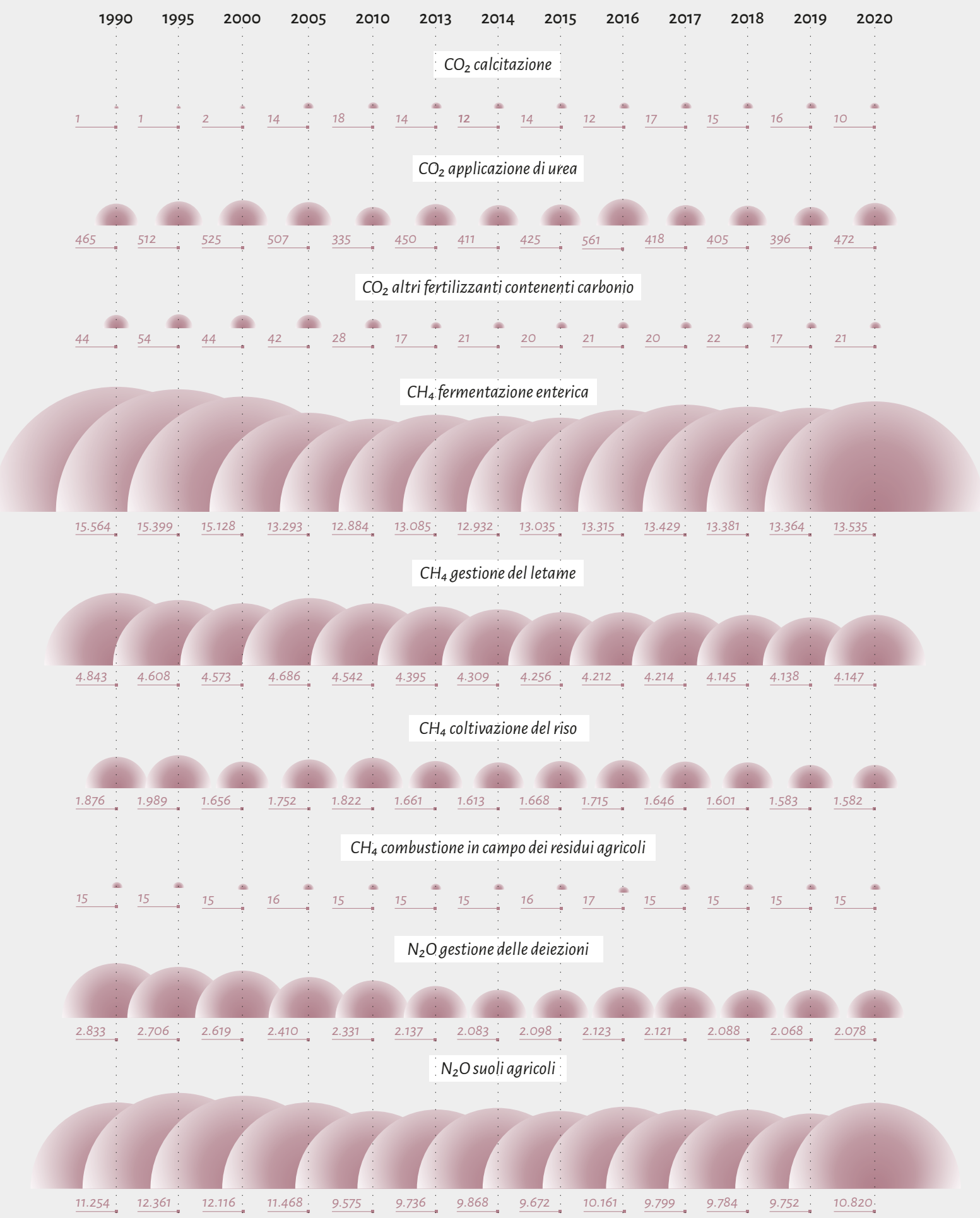
anaerobiche presenti, la temperatura e il tempo di ritenzione del materiale organico. Quando i reflui vengono stoccati o trattati in forma liquida (ad esempio, in vasche o fosse) si decompongono anaerobicamente e producono una quantità significativa di CH_4 . Quando vengono gestiti in forma solida (ad esempio in cumuli) o quando sono oggetto di spandimento su pascoli o terreni, dopo un periodo adeguato di maturazione, tendono a decomporsi in condizioni perlopiù aerobiche, producendo quindi meno CH_4 (JRC, 2017). Il protossido di azoto viene prodotto dalla trasformazione microbica dell'azoto, in particolare:

- nei suoli agricoli dove viene emesso dagli effluenti zootecnici laddove oggetto di spandimento o dai fertilizzanti azotati di sintesi distribuiti sui campi (es. urea) in particolare quando l'azoto disponibile eccede la necessità delle piante;
- nei reflui zootecnici solidi e liquidi presenti nei ricoveri e nelle vasche di raccolta, in condizioni sia aerobiche sia anaerobiche;
- a queste fonti si sommano poi le emissioni da residui colturali e da composti azotati che si depositano sul suolo con le precipitazioni.

Il settore agricolo emette anche anidride carbonica (CO_2), che deriva principalmente dai processi di produzione di foraggio e mangimi, da fertilizzanti organici e inorganici utilizzati sui terreni, dalla gestione delle deiezioni e dalle macchine agricole. A seconda del metodo di contabilizzazione delle emissioni, alcune di queste fonti non sono attribuite al settore agricolo per evitare doppi conteggi (per esempio, con la metodologia IPCC, la produzione di fertilizzanti, imputata ai processi industriali, e l'utilizzo di macchine agricole, imputato alle fonti emissive primarie).

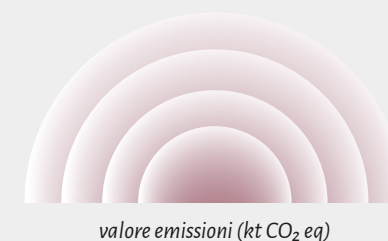
La figura seguente fornisce, a livello nazionale, il dettaglio di quanto esposto.

Così come avviene per la vegetazione naturale, le pratiche agricole hanno anche il potenziale di immagazzinare carbonio organico nel suolo e nelle piante, sottraendo CO_2 dall'atmosfera (o evitando di rilasciarne). Il carbonio organico è un componente fondamentale della sostanza organica del suolo: quest'ultima, pur rappresentando solo una piccola percentuale del suolo (generalmente tra 1% e 5%), ne controlla molte delle proprietà chimiche, fisiche e biologiche, risultando il costituente più importante e l'indicatore chiave del suo stato di qualità. La perdita di sostanza organica implica non solo la compromissione della funzionalità dei terreni, ma anche il rilascio di CO_2 in atmosfera (per ossidazione della sostanza organica stessa). Questo processo è influenzato, tra gli altri fattori, dalle pratiche di lavorazione del terreno agricolo, che sono frutto di scelte e politiche che possono essere guidate in funzione dei loro effetti e dei loro costi di implementazione. Una gestione sostenibile dei suoli agricoli, deve quindi preoccuparsi di mantenere e possibilmente aumentare la sostanza organica del suolo (è più semplice proteggere la sostanza organica esistente che crearne di nuova, poiché la sua formazione è il risultato di processi microbiologici regolati da equilibri complessi che dipendono dalle condizioni ambientali e pedologiche, dall'uso e dalla gestione dei terreni e dalle reciproche interazioni tra questi fattori). Le tecniche per ripristinare, dove i suoli sono degradati, e incrementare la sostanza organica sono molteplici e includono



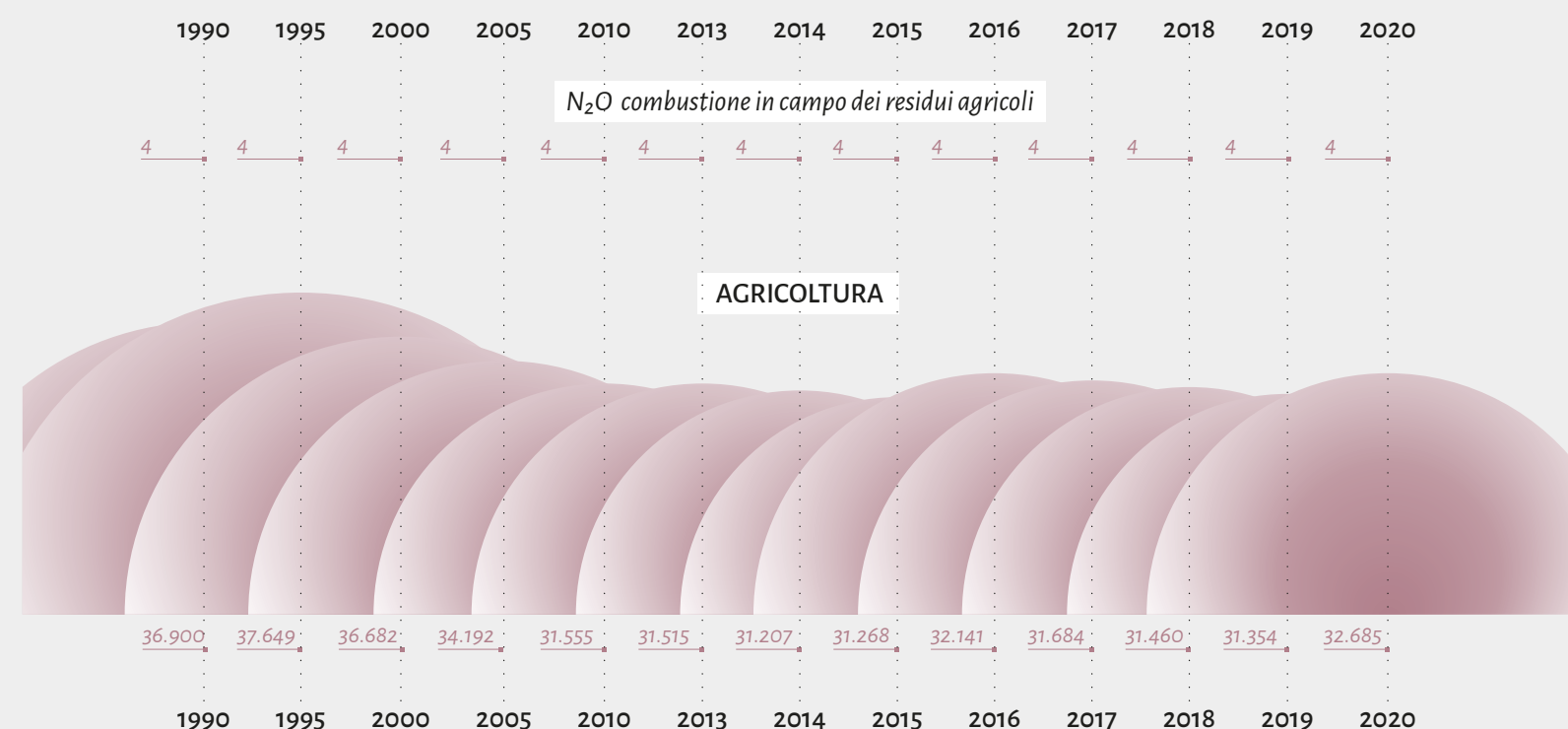
per esempio (Di Leginio et al. 2019):

- aumentare la produzione di biomassa vegetale, in modo da lasciare sui terreni più abbondanti residui delle coltivazioni – compresi i resti degli apparati radicali - e quindi mettere a disposizione dell'attività biologica dei suoli più nutrimento e più energia;
- apportare ai suoli solo materiali organici di qualità – non contaminati, stabilizzati, ricchi in carbonio e caratterizzati da rapporti C/N (carbonio/azoto) e N/P (azoto/fosforo) equilibrati – distribuendoli nelle quantità opportune, nei periodi adatti e con le modalità idonee, evitando gli eccessi e i possibili effetti negativi sull'ambiente e sui suoli stessi che queste pratiche possono comportare quando non sono adeguatamente bilanciate;
- ridurre al minimo il disturbo del suolo dovuto alle operazioni meccaniche, adoperando nella gestione dei suoli e nelle lavorazioni dei terreni tecniche meno invasive possibile e rigenerative, invece, della loro naturale conformazione;
- utilizzare colture di copertura (*cover crop*), diversificare le rotazioni colturali e mantenere una copertura vegetale continua, in modo da proteggere meglio i suoli dagli impatti esterni causati da alte temperature, ristagni d'acqua prolungati e condizioni di asfissia e idromorfia;
- adottare sistemi integrati di produzione vegetale e animale per migliorare la fertilità dei suoli, limitando all'indispensabile l'uso di mezzi tecnici (fertilizzanti, fitofarmaci ed erbicidi) e utilizzando sistemi di pascolo controllato per ridurre la degradazione della vegetazione e ripristinare la diversità vegetale;
- sviluppare pratiche atte a limitare i fenomeni erosivi.



←Fig. 1: Emissioni di gas serra per il periodo 1990-2020 per il settore agricoltura, dettaglio per tipologia di gas (kt CO₂ eq)

Fonte: ISPRA, 2022



Le **FORESTE** hanno un ruolo importante nel ciclo globale del carbonio hanno infatti la capacità di assorbire CO₂ sottraendola dall'atmosfera e di immobilizzare grandi quantità di carbonio nella vegetazione e nei suoli



DEFORESTAZIONE =

reimmissione carbonio in atm
cambiamento climatico immediato

**GLI ECOSISTEMI
FORESTALI
CONTENGONO
5 SERBATOI DI CARBONIO**



1 BIOMASSA EPIGEA

sopra terreno:
fusti, ceppaie, rami,
corteccia, semi e foglie

4 LETTIERA

residui vegetali
in decomposizione
sul suolo

2 BIOMASSA IPOGEA

sotto terreno:
apparati radicali

3 LEGNO MORTO

5 SUOLO

carbonio organico
presente negli orizzonti
organici e minerali
fino ad una profondità
prestabilita

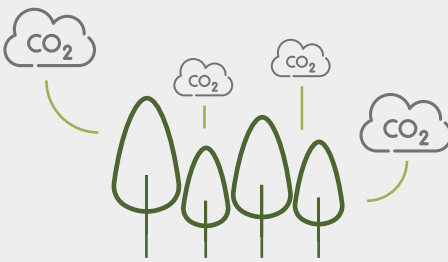
**IL RUOLO DELLE FORESTE NELLA MITIGAZIONE
DEL CAMBIAMENTO CLIMATICO**

Le foreste hanno un ruolo importante nel ciclo globale del carbonio, influenzando sulla mitigazione dei cambiamenti climatici: hanno infatti la capacità di assorbire CO₂ (trasformandola tramite la fotosintesi in sostanza organica) sottraendola dall'atmosfera e di immobilizzare grandi quantità di carbonio nella biomassa viva e morta e nei suoli. Secondo l'IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) sono cinque i "serbatoi di carbonio" (carbon pools) in cui vengono suddivisi gli ecosistemi forestali per la contabilizzazione delle quantità di carbonio: biomassa epigea (la massa complessiva dei soggetti viventi di specie vegetali, presente al di sopra del livello del terreno: fusti, ceppaie, rami, corteccia, semi e foglie), biomassa ipogea (apparati radicali), il legno morto (tessuti legnosi di organismi non più viventi, ancora in piedi o atterrati), la lettiera (residui vegetali a diverso stadio di decomposizione che ricoprono gli strati organici e minerali del suolo) e la componente organica del suolo (carbonio organico presente negli orizzonti organici e minerali fino ad una profondità prestabilita) (INFC, 2005). Generalmente il carbonio contenuto nei suoli forestali eccede addirittura quello della biomassa forestale.

La deforestazione e gli incendi determinano la restituzione in atmosfera del carbonio immagazzinato nel suolo e negli ecosistemi forestali, andando a costituire un'importante quota delle emissioni globali di origine antropica. Assorbimenti ed emissioni delle foreste sono contabilizzati nel settore LULUCF (Land use, Land Use Change and Forestry). Secondo ISPRA, nel 2020 le tonnellate di CO₂ eq assorbite dal settore LULUCF sono state 32,4 milioni. Di questi oltre 30 derivanti dalle foreste (ISPRA, 2022). L'accumulo di carbonio organico dipende fortemente dalle caratteristiche di clima, suolo e vegetazione di una data area forestale. In Italia l'accumulo massimo si ha nei boschi a clima alpino o oceanico composti da conifere e faggi e un minimo nei climi semiaridi mediterranei a prevalenza di macchia. In tutti i casi, però, le formazioni vegetali spontanee garantiscono il massimo dell'accumulo di carbonio possibile in quelle condizioni climatiche (RaF Italia, 2017-18). Secondo i dati del Secondo Inventario Nazionale Forestale 2005 (INCF, 2005) il carbonio totale stoccato nelle foreste italiane ammonta a circa 1,24 miliardi di tonnellate (corrispondenti a circa 4,5 miliardi di tonnellate di CO₂). Di questi, circa la metà è stimata essere contenuta nella frazione organica e minerale del suolo. La componente epigea - comprendente la biomassa viva e quella morta - ammonta, secondo le stime del Terzo Inventario Nazionale Forestale (INCF, 2015) a 569 milioni di tonnellate di carbonio. Ogni anno, per effetto dell'accrescimento, le foreste italiane sottraggono dall'atmosfera circa 46,2 milioni di tonnellate di anidride carbonica¹, che si traducono in 12,6 milioni di tonnellate di carbonio accumulato (RaF Italia, 2017-18).

1

Il dato è decisamente maggiore rispetto a quello indicato da Ispra perché Ispra considera il valore netto dell'assorbimento (che per esempio è molto influenzato dagli incendi).



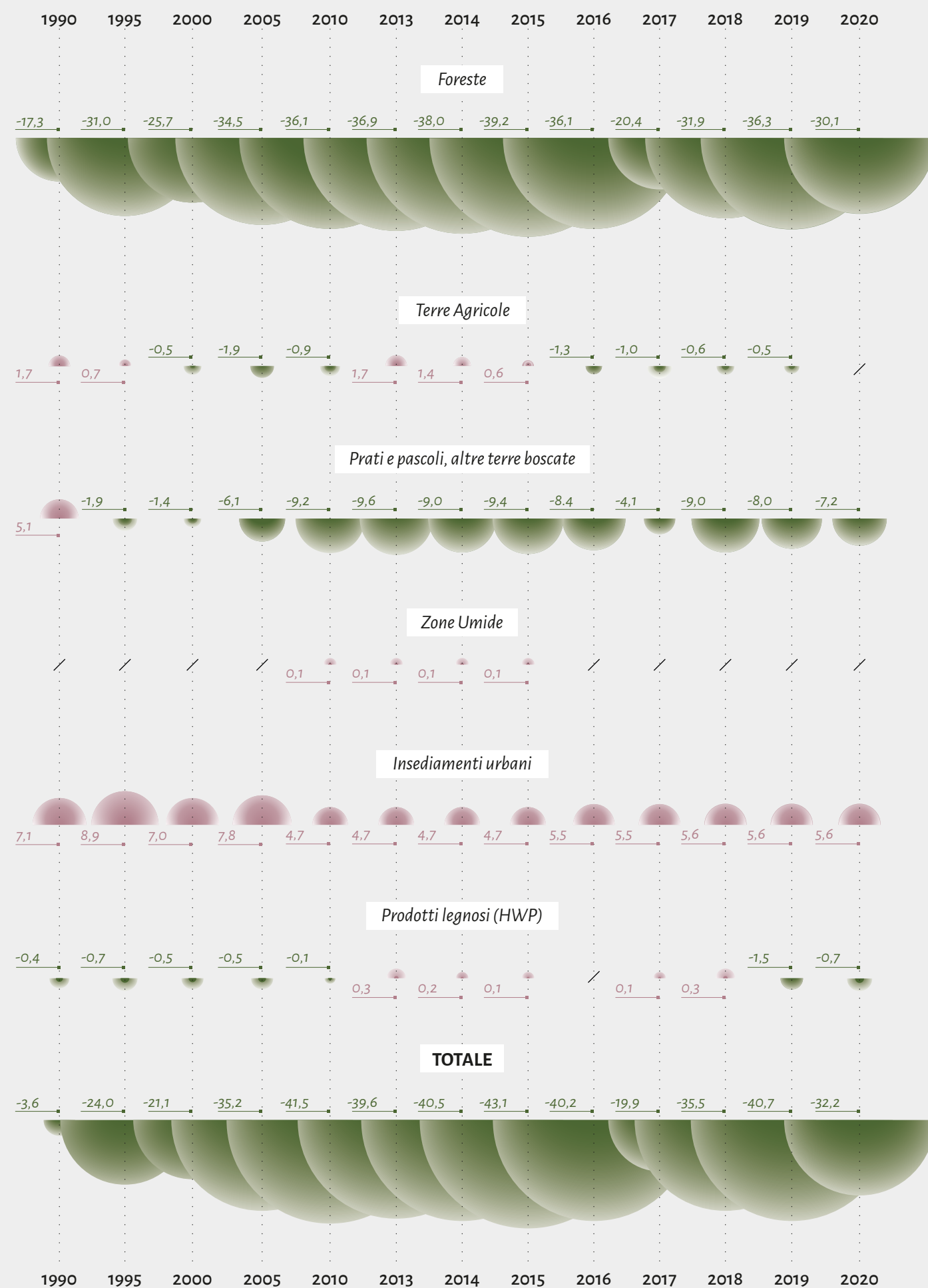
**4,5 MILIARDI
DI TONNELLATE DI CO₂
ASSORBITI DALLE FORESTE ITALIANE**

**1,24 MILIARDI
DI TONNELLARE DI CARBONIO
ACCUMULATO**

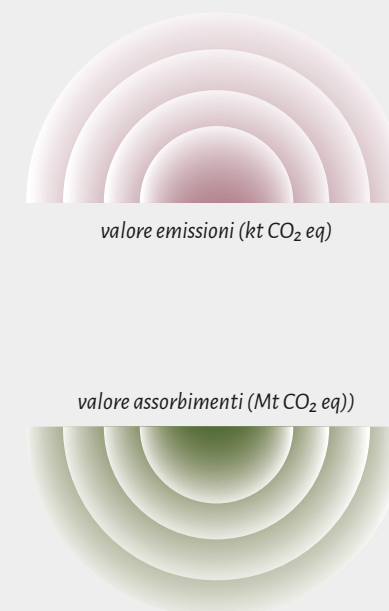


**46,2 MILIONI
DI TONNELLATE DI CO₂
ASSORBITI IN UN ANNO
DALLE FORESTE ITALIANE**

**12,6 MILIONI
DI TONNELLATE DI CARBONIO
ACCUMULATO / ANNO**



Come si evince dalla figura 3 la maggior concentrazione di carbonio organico all'ettaro si ha nelle tipologie forestali montane ed in particolare nelle foreste di conifere.

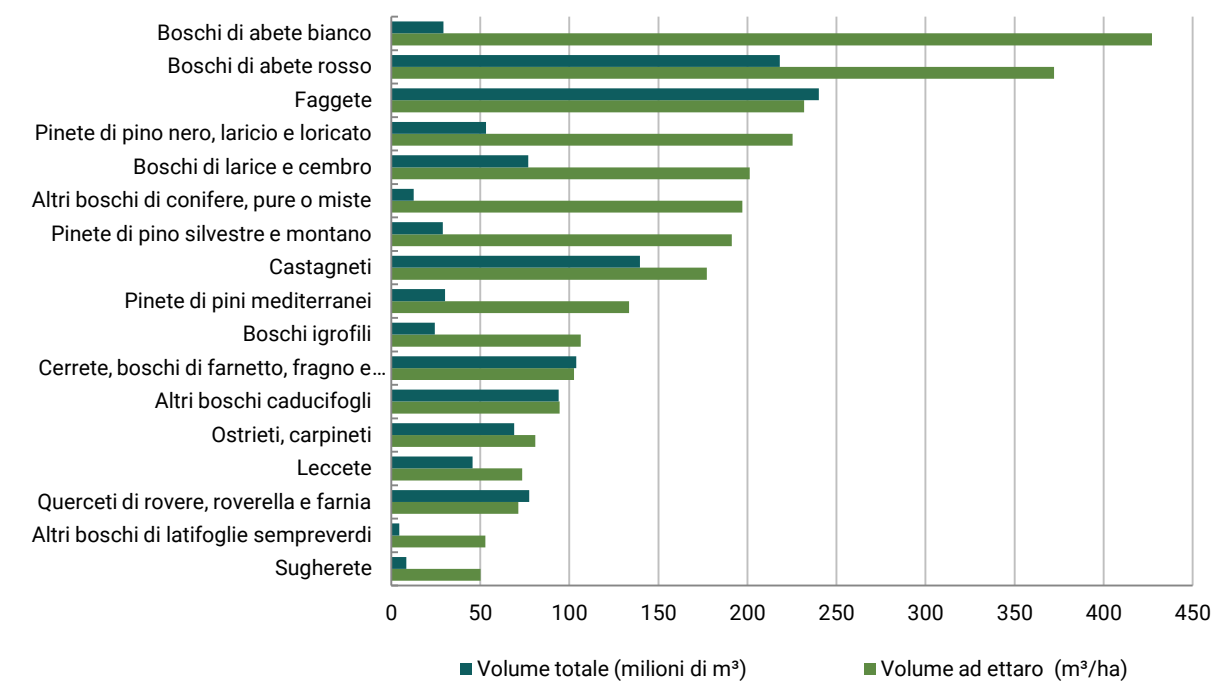


← Fig. 2: Assorbimenti ed emissioni di gas serra delle categorie del settore LULUCF (Mt CO₂ eq)

Fonte: ISPRA, 2022

↓ Fig. 3 Carbonio organico totale (Mt) e per unità di superficie (t/ha) per le categorie forestali dei Boschi alti (2005).

Fonte: RaF Italia, 2017-18



AGRICOLTURA CONVENZIONALE E BIOLOGICA: PERFORMANCE AMBIENTALI ED ECONOMICO- SOCIALI

Il capitolo paragona, in termini di decarbonizzazione e performance economico-sociali, l'agricoltura convenzionale con quella biologica. Per quanto riguarda il tema della decarbonizzazione, sono state fatte delle stime dei potenziali impatti sul bilancio del carbonio (emissioni/sequestro di CO₂ eq) derivanti dall'adozione, nel settore agricolo e zootecnico lombardo, di pratiche di tipo convenzionale e di tipo biologico. A tal fine è stato utilizzato il Modello EX-ACT V 9.3.5 (FAO, 2022a) che ha richiesto l'inserimento di dati relativi a colture e allevamenti presenti in Regione Lombardia. Il modello si basa sui sistemi di produzione intensivi ed estensivi: nella stima fatta, i sistemi di produzione di tipo intensivo sono stati associati all'agricoltura ed alla zootecnica convenzionale, mentre i sistemi di tipo estensivo all'agricoltura ed alla zootecnica biologica (si tratta evidentemente di una semplificazione, come dichiarato già all'inizio del report, necessaria per trattare grandi numeri e disegnare scenari); nel primo caso, il bilancio del carbonio è stato fatto assumendo che tutte le aziende presenti sul territorio regionale adottino pratiche convenzionali, nel secondo caso si è invece ipotizzato che tutte le aziende applichino il metodo biologico.

Per quanto riguarda le performance economiche e sociali, è stata fatta un'analisi basata su alcuni indicatori costruiti a partire da informazioni contenute nella banca dati RICA (sono state considerate aziende agricole localizzate in Pianura Padana, con riferimento all'annata agraria 2019-2020), confrontando aziende e processi produttivi vegetali e animali che utilizzano metodi di produzione convenzionali con aziende e processi produttivi che utilizzano metodi di produzione biologici. Questa analisi comprende anche alcuni aspetti ambientali che riguardano l'uso di acqua, energia (combustibili, elettricità, riscaldamento), fertilizzanti, diserbanti e mangimi.

Infine, si propone una correlazione tra le due analisi.

ANALISI EX-ACT: BILANCIO DEL CARBONIO

EX-ACT è un modello di valutazione elaborato dalla FAO che stima ex-ante l'impatto dei progetti di sviluppo, dei programmi e delle politiche agricole e forestali, sul bilancio del carbonio. EX-ACT stima le variazioni degli stock di carbonio (ovvero le emissioni o gli assorbimenti di CO₂) e le emissioni di gas

ad effetto serra (GHG) per unità di superficie, espressi in tonnellate di CO₂ equivalenti per ettaro all'anno. Nella stima del bilancio del carbonio EX-ACT considera la CO₂, il CH₄ e il N₂O come fonti di gas ad effetto serra associati, derivanti dall'aumento ed eliminazione di biomassa, preparazione del terreno (lavorazione del terreno e combustione), utilizzo di agrochimici (fertilizzazione). Il Modello inoltre considera anche il CH₄ proveniente dal riso e il CH₄ e il N₂O derivante dalla produzione e gestione di bestiame.

Per stimare l'impatto di sistemi agricoli e zootecnici sul bilancio del carbonio vengono utilizzati i Moduli "Produzione e gestione delle coltivazioni" (modulo 2, riferito a pratiche agronomiche, pratiche di lavorazione del terreno, gestione delle risorse idriche e dei nutrienti, gestione dei residui colturali) e "Pascoli e bestiame" (modulo 3, riferito a pratiche di gestione dei pascoli, pratiche di alimentazione del bestiame). I dati da inserire in questi moduli sono il tipo di coltura e la relativa superficie ed il tipo di bestiame con il numero di capi. Inoltre è necessario selezionare diverse variabili, riportate nella tabella 1.

Sulla base delle informazioni e delle opzioni inserite il modello restituisce come risultato la quantità di CO₂ equivalente emessa o assorbita.

Per la stima del bilancio del carbonio sono stati utilizzati i dati contenuti nel report Il sistema agro-alimentare della Lombardia (Rapporto 2021) riguardanti la superficie occupata dalle colture - riclassificate in colture annuali¹, colture permanenti, riso e prati - e la consistenza del patrimonio zootecnico regionale.

Nelle tabelle del bilancio del carbonio (tab 2 e 3, relative rispettivamente al sistema intensivo ed estensivo), per ogni tipologia di coltura e di allevamento si riportano le scelte fatte in relazione alle diverse variabili che il modello richiede (per esempio, in relazione alle colture annuali e permanenti, si riportano il tipo di lavorazione del terreno, l'input di materia organica, la gestione dei residui colturali; oppure, in relazione al riso, la tipologia di irrigazione durante il periodo di coltivazione, la tipologia di irrigazione prima del periodo di coltivazione, la gestione dei residui colturali).

.....
1 Per quanto riguarda i legumi secchi e le oleaginose, il modello EX ACT dà come unica opzione rispettivamente il fagiolo secco e l'arachide.

strumento per l'analisi

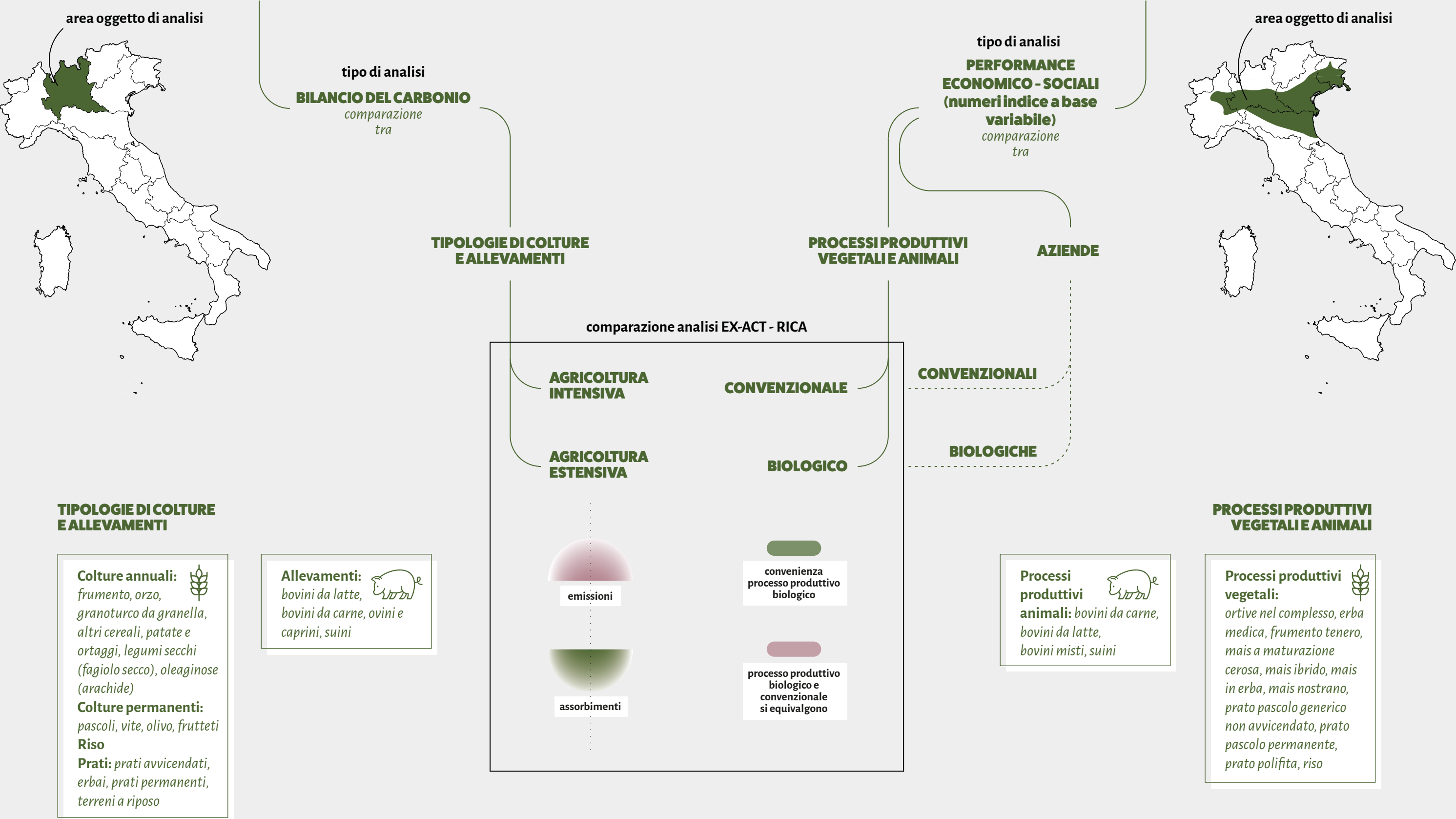
MODELLO EX-ACT (FAO)

(INSERIMENTO DATI RELATIVI A COLTURE E ALLEVAMENTI, ANNO 2020)

strumento per l'analisi

INDICATORI DATABASE RICA

(DATI ANNATA AGRARIA 2019/2020)



Tab. 1: schema delle variabili selezionate richieste dai moduli 2 e 3 del modello EX-ACT

* Rappresenta una prateria gestita in modo sostenibile con una pressione di pascolo da leggera a moderata (o taglio e rimozione della vegetazione) e che riceve almeno un miglioramento (ad esempio, fertilizzazione, miglioramento delle specie, irrigazione).

SISTEMI DI COLTURE ANNUALI (Fagioli e legumi, Tuberi, Orzo, Mais, Avena, Patate, Semi di soia, Grano, Miglio, Sorgo, Segale, Arachidi, Fagiolo secco, Colture di radici)	Tipologia di lavorazione	Input di materia organica	Gestione dei residui (colture annuali)
	Lavorazione completa (full tillage)	Basso input di C (Low C input)	Bruciato (Burned)
	Lavorazione ridotta/minima (reduced tillage)	Medio input di C (Medium C input)	Mantenuto (Retained)
	Nessuna lavorazione (No tillage)	Alto input di C senza letame (High C input, no manure)	Esportato/rimozione dei residui (Exported)
	-	Alto input di C con letame (High C input, with manure)	-

SISTEMI PERENNI (colture permanenti) (Agroforestale, Siepe, Olivo, Frutteto, Ceduo a rotazione breve, Silvoarable, Silvopascolo, Tè, Vite)	Tipologia di lavorazione	Input di materia organica	Residui/combustione di biomassa
	Lavorazione completa (full tillage)	Basso input di C (Low C input)	Sì
	Lavorazione ridotta/minima (reduced tillage)	Medio input di C (Medium C input)	No
	Nessuna lavorazione (No tillage)	Alto input di C senza letame (High C input, no manure)	-
	-	Alto input di C con letame (High C input, with manure)	-

SISTEMA RISO	Tipologia di irrigazione durante il periodo di coltivazione	Tipologia di irrigazione prima del periodo di coltivazione	Sostanza organica
	Irrigazione, allagamento continuo (Irrigated, Continuously flooded)	Non allagata <180 giorni (Non flooded pre-season <180 d)	Paglia bruciata (Straw burnt)
	Irrigazione, periodo di drenaggio singolo (Irrigated, Single drainage period)	Non allagata >180 giorni (Non flooded pre-season >180 d)	Paglia esportata (Straw exported)
	Irrigazione, periodi di drenaggio multipli (Irrigated, Multiple drainage periods)	Allagata > 30 giorni (Flooded pre-season > 30 d)	Compost (Compost)
	Alimentato a pioggia, stagione umida - irrigazione regolare) (Rainfed, wet season -regular rainfed)	-	Letame di cortile (Farm yard manure)
	Piovoso, stagione secca - soggetto a siccità (Rainfed, dry season - drought prone)	-	Concime verde (Green manure)
	Piovoso, con acque profonde (Rainfed, Deep water)	-	Paglia incorporata a lungo (>30 giorni) prima della coltivazione (Straw incorporated long (>30 days) before cultivation)
	-	-	Paglia incorporata poco (<30 giorni) prima della coltivazione (Straw incorporated shortly (<30 days) before cultivation)

SISTEMA PASCOLO	Start	Without	With
	Fortemente degradato (Severely degraded)	Fortemente degradato (Severely degraded)	Fortemente degradato (Severely degraded)
	Pascolo ad alta intensità (High intensity grazing)	Pascolo ad alta intensità (High intensity grazing)	Pascolo ad alta intensità (High intensity grazing)
	Non degradato (Non-degraded)	Non degradato (Non-degraded)	Non degradato (Non-degraded)
	Praterie migliorate (improved grassland)*	Praterie migliorate (improved grassland)*	Praterie migliorate (improved grassland)*
	Migliorato con apporti medi (Improved with medium inputs)	Migliorato con apporti medi (Improved with medium inputs)	Migliorato con apporti medi (Improved with medium inputs)
	Migliorato con alti input (Improved with high inputs)	Migliorato con alti input (Improved with high inputs)	Migliorato con alti input (Improved with high inputs)

GESTIONE DEL BESTIAME E DEI RESIDUI ORGANICI (Bovini da latte, Altri bovini Bufalo da latte, Altri bufali, Pecore da latte, Altre pecore, Allevamento di suini, Capre, Cavalli, Cammelli, Muli e asini, Cervo, Struzzo, Polli, Polli da carne, Lama e alpaca)	Sistemi di produttività
	Alta produttività (High-productivity)
	Bassa produttività (Low-productivity)

Bilancio del carbonio nei sistemi agricoli e zootecnici di tipo intensivo

La stima del bilancio del carbonio dei sistemi agricoli e zootecnici di tipo intensivo è riportata in tabella 2. Riguardo alla gestione dei prati, sono stati ipotizzati due scenari, uno senza interventi e uno con interventi, al fine di comprendere come la scelta delle varie opzioni influenzi il risultato finale.

Tab. 2: Bilancio del carbonio—Sistemi agricoli e zootecnici di tipo intensivo

Tab. 2.1: Colture annuali							
COLTURE ANNUALI	Tipologia di coltura	Tipo di lavorazione del terreno	Input di materia organica	Gestione dei residui colturali	Superficie (ha)	Emissioni di CO ₂ equivalente (t)	tCO ₂ /ha
	Frumento	Lavorazione completa	basso input di C	rimozione dei residui	67.053	46.141,64	0,69
	Orzo	Lavorazione completa	basso input di C	rimozione dei residui	20.068	13.809,53	0,69
	Granoturco da granella	Lavorazione completa	basso input di C	rimozione dei residui	134.129	92.299,11	0,69
	Altri cereali	Lavorazione completa	basso input di C	rimozione dei residui	7.940	5.463,81	0,69
	Patate e ortaggi	Lavorazione completa	basso input di C	rimozione dei residui	19.528	13.437,94	0,69
	legumi secchi (fagiolo secco)	Lavorazione completa	basso input di C	rimozione dei residui	5.453	3.752,41	0,69
	Oleaginose (arachide)	Lavorazione completa	basso input di C	rimozione dei residui	53.837	37.047,22	0,69
	Totale colture annuali	-	-	-	308.008	211.952	0,69

Tab. 2.2: Colture perenni

COLTURE PERMANENTI	Tipologia di coltura	Tipo di lavorazione del terreno	Input di materia organica	Gestione dei residui colturali	Superficie (ha)	Emissioni di CO ₂ equivalente (t)	tCO ₂ /ha
	Pascoli	Nessuna lavorazione	basso input di C	-	114.249	-1.745.881,93	-15,28
	Vite	Lavorazione completa	basso input di C	bruciatura	23.880	-6.960,22	-0,29
	Olivo	Lavorazione completa	basso input di C	bruciatura	2.402	-2.238,49	-0,93
	Frutteti	Lavorazione completa	basso input di C	bruciatura	5.769	-4.760,48	-0,83
	Totale colture permanenti	-	-	-	146.300	-1.759.841,11	-12,03

Tab. 2.3: Sistema riso allagato

SISTEMA RISO ALLAGATO	Tipologia di coltura	Tipologia di irrigazione durante il periodo di coltivazione	Tipologia di irrigazione prima del periodo di coltivazione	Gestione dei residui colturali	Superficie (ha)	Emissioni di CO ₂ equivalente (t)	tCO ₂ /ha
	Riso	Irrigato, Inondazione continua	Pre-stagione non allagata <180 d	paglia esportata	97.801	525.450	5,37
	Totale	-	-	-	97.801	525.450	5,37

Tab. 2.4: Gestione di prati

PRATI						Emissioni di CO ₂ equivalente(t)		Emissioni di CO ₂ equivalente (t/ha)	
	Tipologia di coltura	Situazione iniziale	Senza interventi	Con interventi	Superficie (ha)	Senza interventi	Con interventi	Senza interventi	Con interventi
	Prati avvicendati	non degradato	gravemente degradato	prati migliorati	82.003	288.651	-134.704	3,52	-0,61
	Erbai	non degradato	gravemente degradato	prati migliorati	301.523	1.061.361	-495.302	3,52	-0,61
	Prati permanenti	non degradato	gravemente degradato	prati migliorati	99.435	350.011	-163.339	3,52	-0,61
	Terreni a riposo	non degradato	prati migliorati	prati migliorati	10.732	-17.629	-17.629	-1,64	-0,61
	Totale	-	-	-	493.693	1.682.394	-810.973	3,41	-0,61

Tab.2.5: Gestione degli Allevamenti

ALLEVAMENTI		Sistema produttivo	Numero di capi	Emissioni di CO ₂ equivalente (t)	tCO ₂ /Capo
	bovini da latte	Alta produttività	1.101.135	5.661.495	5,14
	bovini da carne	Alta produttività	445.553	859.089	1,93
	ovini e caprini	Alta produttività	210.222	58.889	0,28
	suini	Alta produttività	4.448.267	186.827	0,04
	TOTALE	-	6.205.177	6.766.299	1,09

Bilancio del carbonio nei sistemi agricoli e zootecnici di tipo estensivo

La stima del bilancio del carbonio dei sistemi agricoli e zootecnici di tipo estensivo è riportata in tabella 3. In relazione alle coltivazioni annuali e permanenti sono stati ipotizzati diversi scenari: il metodo di lavorazione “minimum tillage” (lavorazione ridotta), è stato associato a diversi apporti di carbonio (alto apporto di sostanza organica con letame, alto apporto senza letame, medio apporto). Per i prati è stato ipotizzando un suolo non degradato e sono stati selezionati due diversi apporti di sostanza organica (medi e alti). La coltivazione del riso con approccio di tipo estensivo prevede un sistema di irrigazione che ottimizza il quantitativo di acqua richiesto dalla pianta.

Tab. 3: Bilancio del carbonio—Sistemi agricoli e zootecnici di tipo estensivo

Tab. 3.1: colture annuali

COLTURE ANNUALI	Tipologia di coltura	Tipo di lavorazione del terreno	Input di materia organica	Gestione dei residui colturali	Superficie (ha)	Emissioni di CO ₂ equivalente (t)	tCO ₂ /ha
	Frumento	Lavorazione minima	Alto importo di sostanza organica C con letame	mantenimento dei residui	67.053	-270.837,39	-4,04
	Orzo	Lavorazione minima	Alto importo di sostanza organica C con letame	mantenimento dei residui	20.068	-80.909,13	-4,03
	Granoturco da granella	Lavorazione minima	Alto importo di sostanza organica C con letame	mantenimento dei residui	134.129	-536.381,61	-4
	Altri cereali	Lavorazione minima	Alto importo di sostanza organica C con letame	mantenimento dei residui	7.940	-32.301,38	-4,07
	Patate e ortaggi	Lavorazione minima	Alto importo di sostanza organica C con letame	mantenimento dei residui	19.528	-75.835,69	-3,88
	legumi secchi (fagiolo secco)	Lavorazione minima	Alto importo di sostanza organica C con letame	mantenimento dei residui	5.453	-22.431,75	-4,11
	Oleaginose (arachide)	Lavorazione minima	Alto importo di sostanza organica C con letame	mantenimento dei residui	53.837	-216.115,84	-4,01
	TOTALE	-	-	-	308.008	-1.234.813	-4,01
COLTURE ANNUALI	Frumento	Lavorazione minima	Alto importo di sostanza organica C senza letame	mantenimento dei residui	67.053	-82.736,02	-1,23
	Orzo	Lavorazione minima	Alto importo di sostanza organica C senza letame	mantenimento dei residui	20.068	-24.613,09	-1,23
	Granoturco da granella	Lavorazione minima	Alto importo di sostanza organica C senza letame	mantenimento dei residui	134.129	-160.114,35	-1,19
	Altri cereali	Lavorazione minima	Alto importo di sostanza organica C senza letame	mantenimento dei residui	7.940	-10.027,59	-1,26
	Patate e ortaggi	Lavorazione minima	Alto importo di sostanza organica C senza letame	mantenimento dei residui	19.528	-21.054,50	-1,08
	legumi secchi (fagiolo secco)	Lavorazione minima	Alto importo di sostanza organica C senza letame	mantenimento dei residui	5.453	-7.134,65	-1,31
	Oleaginose (arachide)	Lavorazione minima	Alto importo di sostanza organica C senza letame	mantenimento dei residui	53.837	-65.088,84	-1,21
	TOTALE	-	-	-	308.008	-370.769	-1,2
COLTURE ANNUALI	Frumento	Lavorazione minima	Importo medio di C	mantenimento dei residui	67.053	-20.035,57	-0,3
	Orzo	Lavorazione minima	Importo medio di C	mantenimento dei residui	20.068	-5.847,74	-0,29
	Granoturco da granella	Lavorazione minima	Importo medio di C	mantenimento dei residui	134.129	-34.691,93	-0,26
	Altri cereali	Lavorazione minima	Importo medio di C	mantenimento dei residui	7.940	-2.602,99	-0,33
	Patate e ortaggi	Lavorazione minima	Importo medio di C	mantenimento dei residui	19.528	-2.794,10	-0,14
	legumi secchi (fagiolo secco)	Lavorazione minima	Importo medio di C	mantenimento dei residui	5.453	-2.035,61	-0,37
	Oleaginose (arachide)	Lavorazione minima		mantenimento dei residui	53.837	-14.746,51	-0,27
	TOTALE	-	-	-	308.008	-82.754	-0,27

Tab. 3.2: Colture perenni

COLTURE PERMANENTI	Tipologia di coltura	Tipo di lavorazione del terreno	Input di materia organica	Gestione dei residui colturali*	Superficie (ha)	Emissioni di CO ₂ equivalente (t)	tCO ₂ /ha
	Pascoli	Nessuna lavorazione	Importo medio di sostanza organica C	no	114.249	-1.830.817,38	-16,02
	Vite	Lavorazione minima	Alto importo di sostanza organica C senza letame	no	23.880	-57.904,48	-2,42
	Olivo	Nessuna lavorazione	Alto importo di sostanza organica C con letame	no	2.402	-15.901,96	-6,62
	Frutteti	Lavorazione minima	Alto importo di sostanza organica C senza letame	no	5.769	-17.161,68	-2,97
	TOTALE	-	-	-	146.300	-1.921.785,49	-13,14
	Pascoli	Nessuna lavorazione	Importo medio di sostanza organica C	no	114.249	-1.830.817,38	-16,02
	Vite	Lavorazione minima	Importo medio di sostanza organica C	no	23.880	-34.603,71	-1,45
	Olivo	Nessuna lavorazione	Importo medio di sostanza organica C	no	2.402	-6.080,58	-2,53
	Frutteti	Lavorazione minima	Importo medio di sostanza organica C	no	5.769	-11.532,62	-2
	TOTALE	-	-	-	146.300	-1.883.034,29	-12,87

*Per questo campo il modello prevede solo due opzioni (bruciatura e non bruciatura dei residui): nei pascoli non ci sono residui, mentre per le colture agrarie legnose i residui generalmente vengono raccolti e conferiti nei centri per la produzione di pellet, cippato...

Tab. 3.3: Sistema riso allagato

sistema riso allagato	Tipologia di coltura	Tipologia di irrigazione durante il periodo di coltivazione	Tipologia di irrigazione prima del periodo di coltivazione	Gestione dei residui colturali	Superficie (ha)	Emissioni di CO ₂ equivalente (t)	tCO ₂ /ha
	Riso	piovoso acque profonde	pre-stagione non allagata <180 d	paglia esportata	97.801	31.527	0,32
	TOTALE	-	-	-	97.801	31.527	0,32

Tab. 3.4: Gestione dei prati

PRATI	Tipologia di coltura	Situazione iniziale	Con interventi	Superficie (ha)	Emissioni di CO ₂ equivalente (t)	tCO ₂ /ha
	Prati avvicendati	non degradato	migliorato con alti inputi di C	82.003	-134.704	-3,11
	Erbai	non degradato	migliorato con alti inputi di C	301.523	-938.951	-3,11
	Prati permanenti	non degradato	migliorato con alti inputi di C	99.435	-309.643	-3,11
	Terreni a riposo	non degradato	prati migliorati	10.732	-17.629	-1,64
	TOTALE	-	-	493.693	-1.521.583	-3,08
	Prati avvicendati	non degradato	migliorato con medi inputi di C	82.003	-134.704	-1,64
	Erbai	non degradato	migliorato con medi inputi di C	301.523	-495.302	-1,64
	Prati permanenti	non degradato	migliorato con medi inputi di C	99.435	-163.339	-1,64
	Terreni a riposo	non degradato	prati migliorati	10.732	-17.629	-1,64
	TOTALE	-	-	493.693	-810.973	-1,64

Tab. 3.5: Gestione degli allevamenti

ALLEVAMENTI		Sistema produttivo	Numero di capi	Emissioni di CO ₂ equivalente (t)	tCO ₂ /Capo
	bovini da latte	Bassa produttività	1.101.135	5.024.023	4,56
	bovini da carne	Bassa produttività	445.553	826.775	1,86
	ovini e caprini	Bassa produttività	210.222	35.062	0,17
	suini	Bassa produttività	4.448.267	124.551	0,17
	TOTALE	-	6.205.177	6.010.412	0,97

Sintesi dei risultati

Sistemi agricoli e zootecnici di tipo intensivo

I risultati sono sintetizzati in tabella 2.6.
Se da un lato i metodi di coltivazione e gestione delle colture annuali e del sistema riso allagato emettono in atmosfera rispettivamente circa 212.000 e 525.000 tonnellate di CO₂ equivalente, dall'altro, i pascoli (e in generale le colture permanenti, ma le coltivazioni legnose hanno un ruolo secondario)

sequestrano dall'atmosfera più di 1,7 Mln di tonnellate di CO₂ (tab.2.1, 2.2, 2.3). Il ruolo dei pascoli non dipende tanto dalle maggiori superfici occupate, quanto dalla consistente capacità di assorbimento di CO₂ per ettaro (-15,28 tCO₂/ha).

Riguardo alla gestione dei prati, i due scenari ipotizzati (tab 2.4) portano a risultati molto diversi: il primo scenario indica che le pratiche intensive determinano un peggioramento qualitativo del suolo con un aumento dell'emissione di CO₂ stimata in quasi 1.7 milioni tonnellate; il secondo scenario indica che un cambio di gestione con miglioramento qualitativo dei prati determina il sequestro di circa 810.000 tonnellate di anidride carbonica. In entrambi i casi, il contributo più rilevante è dato dagli erbai (date le maggiori superfici occupate).

In funzione della gestione degli erbai, il sistema agricolo intensivo può quindi emettere 660.000 ton di CO₂ oppure assorbirne 1,8 milioni (tab 2.6). Gli allevamenti intensivi sono responsabili dell'emissione in atmosfera di 6,77 milioni di tonnellate di CO₂ eq (tab.2.5). Ad incidere maggiormente sono in particolare gli allevamenti di bovini da latte. Si stima che ogni bovino in media emetta 5,14 tCO₂ all'anno, mentre i suini ne emettono 0,04. Ad incidere quindi sul bilancio del carbonio dei sistemi agricoli e zootecnici di tipo intensivo sono soprattutto i bovini da latte, da carne, i pascoli e gli erbai.

In funzione di queste variabili i sistemi agricoli e zootecnici di tipo intensivo possono quindi emettere da un massimo di circa 7,4 milioni tCO₂/anno (nel caso di pascoli fortemente degradati) ad un minimo di 4,93 milioni di tCO₂/anno (nel caso di miglioramento nella gestione dei pascoli).

Tab. 2.6: Sintesi dei risultati del bilancio del carbonio per i sistemi intensivi

	Superficie (ha)	Emissioni di CO ₂ equivalente			
		Tonnellate CO ₂ eq/anno		Tonnellate CO ₂ eq/ha/anno	
Totale colture annuali	308.008	211.952		0,69	
Totale colture permanenti	146.300	-1759841,11		-12,03	
Totale riso	97.801	525450		5,37	
Totale prati	493.693	Senza interventi	Con interventi	Senza interventi	Con interventi
		1.682.394	-810973	3.41	-0.61
TOTALE SISTEMA AGRICOLO		659.954,89	-1.833.412,11		
	n° capi	tonnellate CO ₂ eq/anno		tonnellate CO ₂ eq/capo/anno	
TOTALE SISTEMA ZOOTECNICO	6.205.177	6.766.299		1,09	
		MAX	MIN		
TOTALE SISTEMA AGRICOLO E ZOOTECNICO		7.426.253,89	4.932.886,89		

Sistemi agricoli e zootecnici di tipo estensivo

I risultati sono sintetizzati in tabella 3.6.

Per le colture annuali i risultati mostrano che ad incidere in modo significativo sul bilancio del carbonio è la quantità di sostanza organica immessa nel suolo: in particolare un alto importo di sostanza organica con letame migliora sensibilmente la capacità dei suoli e delle colture di assorbire anidride carbonica (circa 1.2 milioni di tCO₂/anno) rispetto a terreni con alto importo di sostanza organica C senza letame (assorbimento di circa 370.000 tCO₂/anno) ed a terreni con medio importo di sostanza organica (assorbimenti di circa 82.000 tCO₂/anno) (tab.3.1).

Per le colture permanenti i risultati sono invece poco influenzati dalla quantità di carbonio organico apportata: sono infatti in grado di assorbire un quantitativo di CO₂ che varia tra 1.92 e 1.88 milioni di t/anno (l'assorbimento è quasi tutto a carico dei pascoli, per i quali la simulazione riportata in tabella prevede un importo medio di sostanza organica; una simulazione con un importo alto di carbonio senza aggiunta di letame porta ad un assorbimento di 1.95, a ulteriore testimonianza del fatto che il risultato è scarsamente influenzato dalla quantità di carbonio organico apportata).

Con le opzioni inserite in tabella 3.3, la coltivazione del riso emette 31.000 tCO₂/anno pari a 0,32 t/ha/anno.

Riguardo alla gestione dei prati, ipotizzando un suolo non degradato ed intervenendo con apporti di sostanza organica da medi ad alti, si assiste

Tab. 3.6: Sintesi dei risultati del bilancio del carbonio per i sistemi estensivi

	Superficie (ha)	Emissioni di CO ₂ equivalente					
		tonnellate CO ₂ eq/anno			tonnellate CO ₂ eq/ha/anno		
		alto apporto di SO con letame	alto apporto di SO senza letame	medio apporto di SO	alto apporto di SO con letame	alto apporto di SO senza letame	medio apporto di SO
Totale colture annuali	308.008	-1.234.813	-370.769	-82.754	-4,01	-1,2	-0,27
	-	medio/alto apporto di SO		medio apporto di SO	medio/alto apporto di SO	medio apporto di SO	-
Totale colture permanenti	146.300	-1.921.785,49		-1.883.034,29	-13,14	-12,87	
Totale riso	97.801	31.527				0,32	
	-	medio/alto apporto di SO		medio apporto di SO	alto apporto di SO	medio apporto di SO	
Totale prati	493.693	-1.521.583		-810.973	-3,08	-1,64	
TOTALE SISTEMA AGRICOLO	-	-4.646.654		-2.745.234			
	N° di capi	tonnellate di CO ₂ eq/anno			tonnellate CO ₂ eq/capo/anno		
TOTALE SISTEMA ZOOTECNICO	6.205.177	6.010.412			0,97		
		MIN		MAX			
TOTALE SISTEMA AGRICOLO E ZOOTECNICO		1.363.758		3.265.177,71			

ad un aumento della capacità del suolo di sottrarre CO₂ dall'atmosfera (da 810.000 ton di CO₂/anno a 1.5 milioni), con un ruolo rilevante degli erbai (date le maggiori superfici) (tab.3.4).

In funzione dell'apporto di sostanza organica (in particolare alle colture annuali e agli erbai), il sistema agricolo estensivo può quindi assorbire da un minimo di 2,7 milioni di tonnellate di CO₂ eq/anno a un massimo di 4,6. La gestione degli allevamenti, anche con il metodo estensivo, è una fonte importante di emissione (6,1 milioni di tCO₂/anno). Ad incidere maggiormente sono di nuovo gli allevamenti di bovini da latte. Si stima che ogni bovino in media emetta 4,56 tCO₂/anno, mentre i suini ne emettano 0,03 tCO₂/capo/anno (tab.3.5).

In funzione di queste variabili il bilancio complessivo del carbonio nei sistemi agricoli e zootecnici di tipo estensivo può variare da un assorbimento di 1,4 milioni di tonnellate di CO₂ a 3,3.

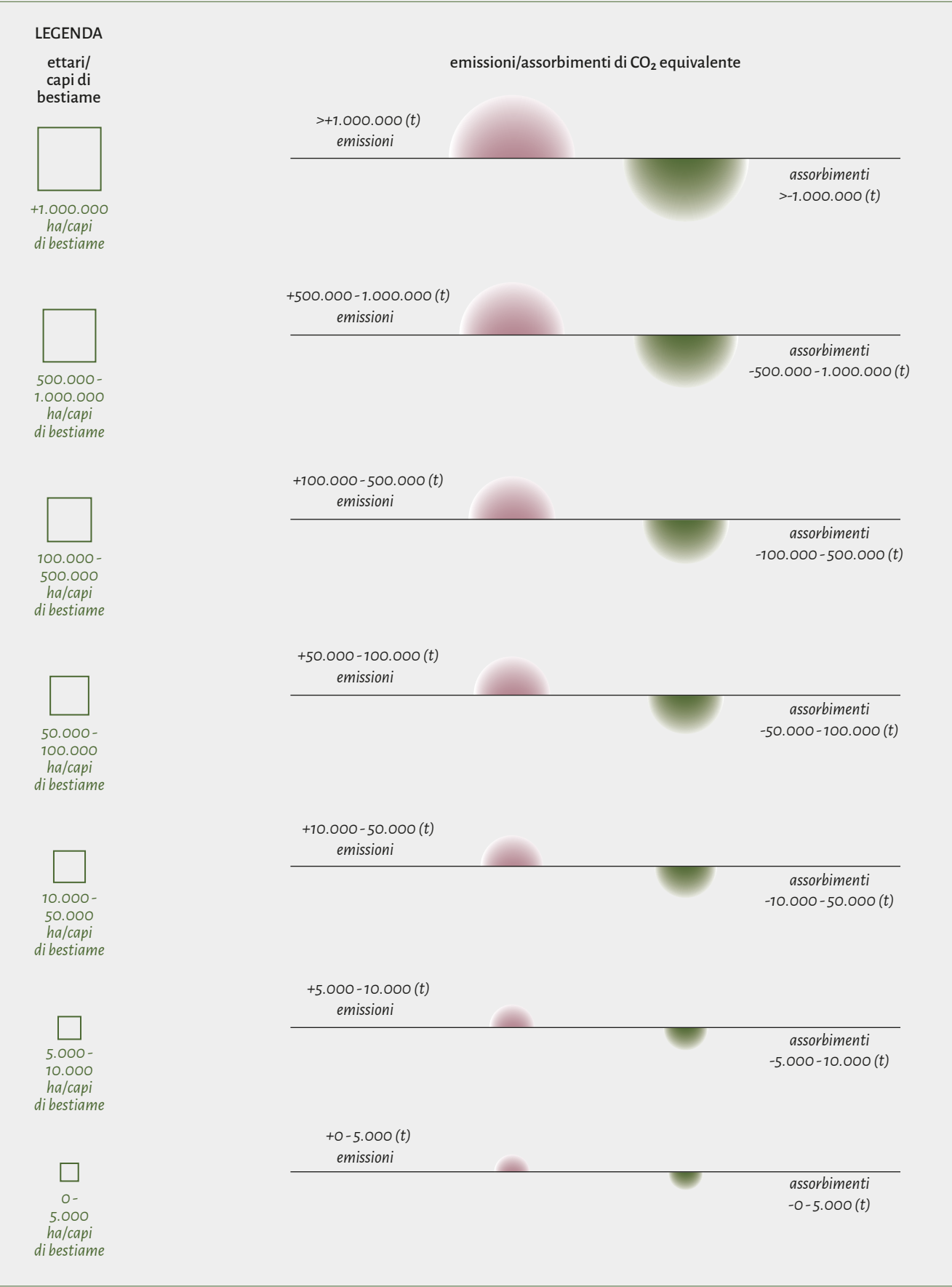
Confronto tra il sistema di produzione intensivo ed estensivo

I due sistemi sono messi a confronto nei grafici seguenti, usando le emissioni (o gli assorbimenti) per unità di riferimento (ettaro nel caso delle coltivazioni, capo di bovino nel caso degli allevamenti).

Si nota che il sistema di produzione biologico rispetto a quello convenzionale può determinare, nei diversi casi:

- minori emissioni: questa situazione si verifica per il riso (differenza molto rilevante) e per gli allevamenti (differenza meno rilevante);
- maggiori assorbimenti: questa situazione si verifica per le coltivazioni permanenti (per vite, olivo e fruttiferi il maggior assorbimento è più o meno rilevante a seconda che le coltivazioni biologiche siano trattate con alti o medi input di sostanza organica; nei grafici è rappresentata la situazione corrispondente ad alti input di sostanza organica);
- assorbimenti invece che emissioni: questa situazione si verifica per le colture annuali (ed è più o meno rilevante a seconda che le coltivazioni biologiche siano trattate con alti input di sostanza organica con o senza letame; nei grafici è rappresentata la situazione corrispondente ad alti input con letame); si verifica anche nel caso dei prati (prati avvicendati, erbai e prati permanenti) quando la situazione di partenza di quelli convenzionali è gravemente degradata (quella rappresentata nei grafici); quando la situazione di partenza di quelli convenzionali è di prato migliorato si verificano assorbimenti invece che emissioni solo se il paragone è fatto con prati estensivi trattati con alti input di sostanza organica (la situazione rappresentata nei grafici); infatti i prati convenzionali con interventi e quelli estensivi trattati con medi input di sostanza organica danno lo stesso risultato, ovvero hanno valori uguali di assorbimenti.

ANALISI EX-ACT STIMA DEL BILANCIO DEL CARBONIO:
SISTEMA DI PRODUZIONE AGRICOLA DI TIPO INTENSIVO ED ESTENSIVO
A CONFRONTO (tCO₂/ANNO)



C
O
L
T
U
R
E

A
N
N
U
A
L
I

C
O
L
T
U
R
E

P
E
R
M
A
N
E
N
T
I

TIPOLOGIA DI COLTURA

SUPERFICIE (ha)

Frumento

67.053

Orzo

20.068

Granoturco da granella

134.129

Altri cereali

7.940

Patate e ortaggi

19.528

Legumi secchi (fagiolo secco)

5.453

Oleaginose (arachide)

53.837

TOTALE

308.008

Pascoli

114.249

Vite

23.880

Olivo

2.402

Fruttiferi

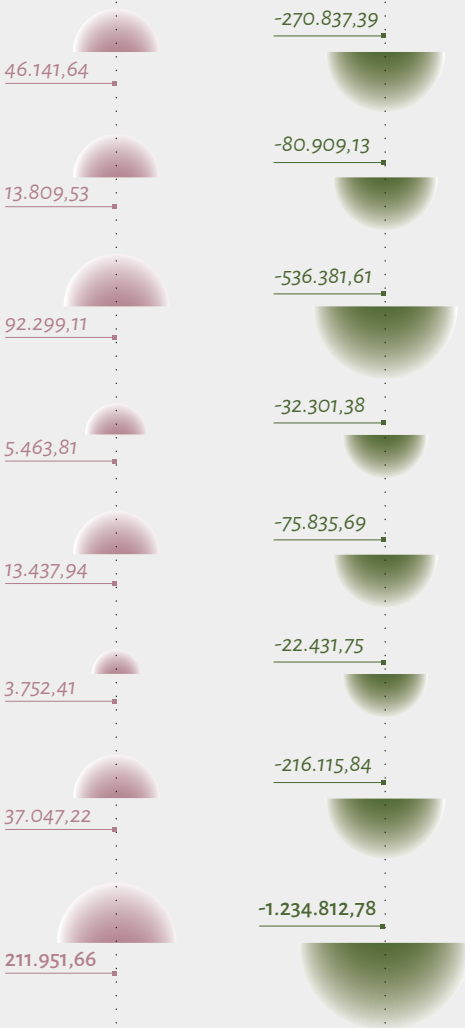
5.769

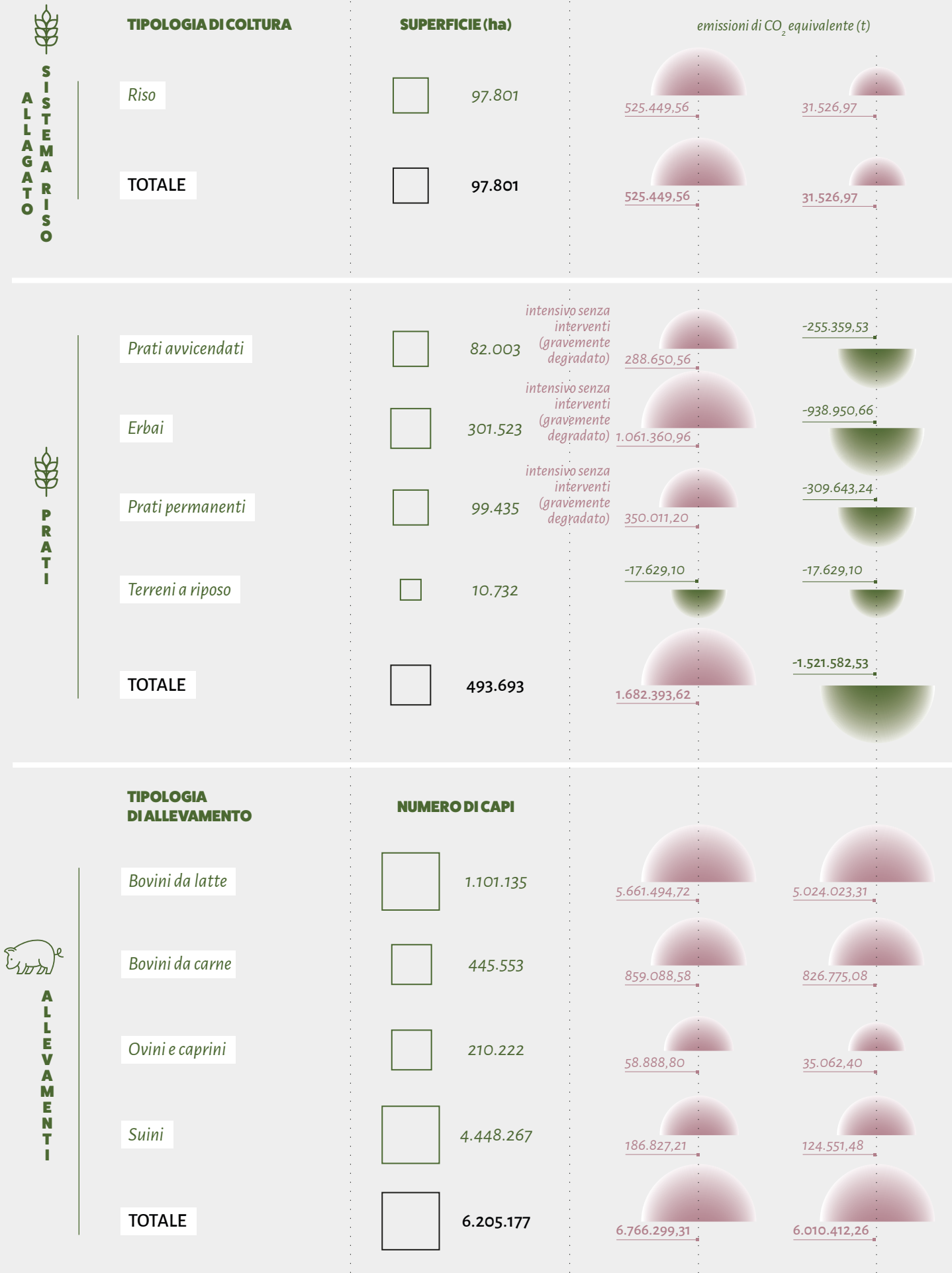
TOTALE

146.300

SISTEMA DI PRODUZIONE
INTENSIVO ESTENSIVO

emissioni di CO₂ equivalente (t)





STIMA DEL BILANCIO DEL CARBONIO:
SISTEMA DI PRODUZIONE AGRICOLA
DI TIPO INTENSIVO ED ESTENSIVO
A CONFRONTO (tCO₂/ha/anno)

LEGENDA

1.Colture Annuali

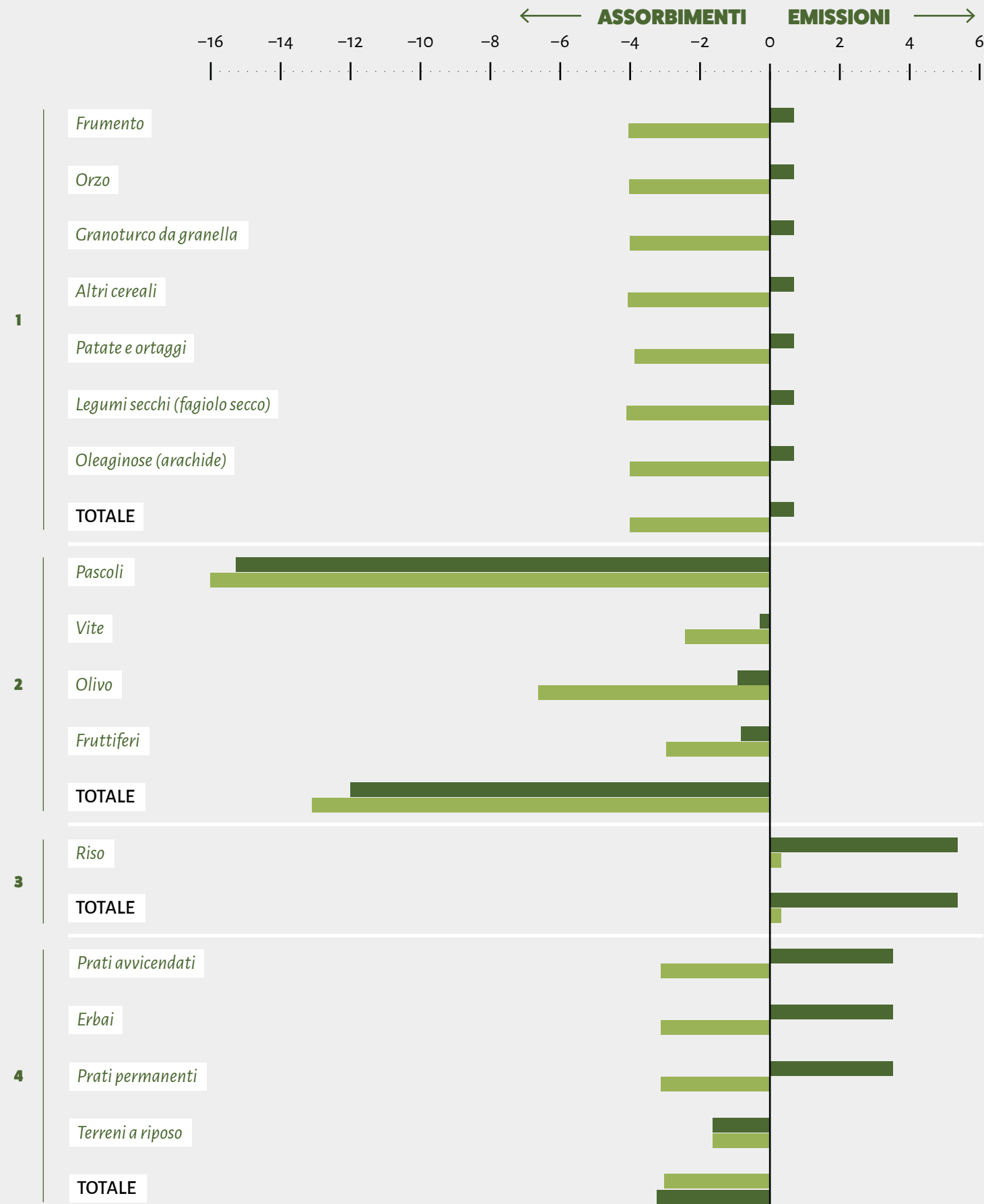
2.Colture Permanenti

3.Sistema Riso allargato

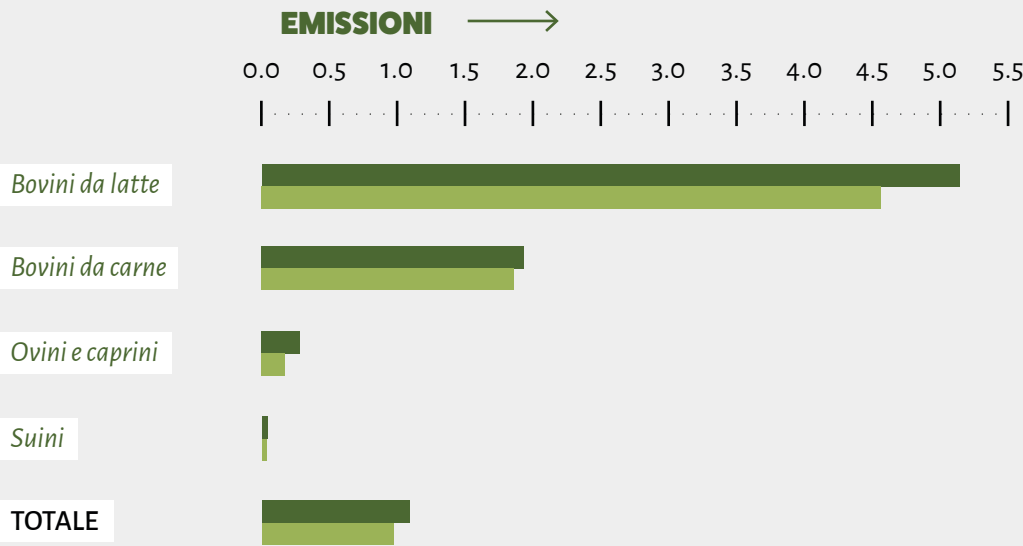
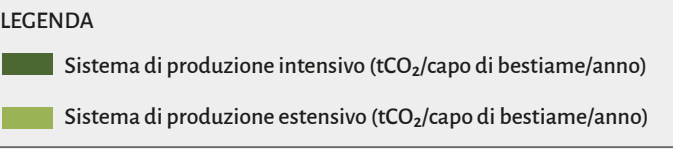
4.Prati

Sistema di produzione intensivo (tCO₂/ha/anno)

Sistema di produzione estensivo (tCO₂/ha/anno)



STIMA DEL BILANCIO DEL CARBONIO:
ALLEVAMENTI DI TIPO INTENSIVO ED ESTENSIVO
A CONFRONTO (tCO₂/capo di bestiame/anno)



ANALISI RICA: INDICATORI DI SOSTENIBILITÀ
ECONOMICA, SOCIALE ED AMBIENTALE

La Banca dati RICA (Rete d'Informazione Contabile Agricola, EU-RICA) è stata istituita dalla Commissione Europea nel 1965, con il Regolamento CEE 79/56 e aggiornata con il Reg. CE 1217/2009 (e successive modificazioni e integrazioni) con l'obiettivo di raccogliere le informazioni necessarie a misurare l'evoluzione dei redditi degli imprenditori agricoli e il funzionamento delle imprese del settore primario. Sono incluse nel campione RICA le aziende agricole, presenti in un territorio, la cui dimensione è tale da fornire all'agricoltore un'attività economica principale professionale ed orientata al mercato (sono pertanto escluse quelle la cui produzione è marginale, tipicamente localizzate nelle aree interne). Le informazioni raccolte dalla RICA sono classificate in tre dimensioni: la regione geografica, la dimensione economica in termini di UDE (Unità di Dimensione Economica³) e l'OTE (Orientamento Tecnico Produttivo). Tali

³ Una UDE corrisponde ad un reddito lordo standard aziendale di 1.200 euro/anno

informazioni sono a supporto della Commissione Europea, nel processo decisionale riguardante la gestione e lo sviluppo della Politica Agricola Comune.

Sono state estrapolate dalla Banca dati RICA alcune variabili, a partire dalle quali sono stati costruiti gli indicatori funzionali a misurare la sostenibilità economica, sociale ed ambientale sia a livello aziendale che a livello di processo produttivo (vegetale e animale).

Per agevolare il confronto tra sistemi convenzionali e biologici (per esempio paragonare la coltivazione del mais convenzionale con quella biologica), agli indicatori calcolati è stato applicato un procedimento statistico chiamato "numero indice a base variabile", dato dal rapporto tra il valore degli indicatori calcolati per i sistemi biologici (aziendali e di processo produttivo) e il valore degli indicatori calcolati per i sistemi convenzionali.

La distribuzione del campione RICA analizzato

Per l'analisi sono state prese in considerazione le aziende agricole localizzate in Pianura Padana, con riferimento all'annata agraria 2019-2020. La scelta di comprendere un'area di riferimento più ampia, rispetto al contesto regionale, è dovuta al numero esiguo di aziende biologiche presenti in Regione Lombardia che non avrebbe consentito di effettuare un confronto rappresentativo dei due metodi di produzione (convenzionale e biologico). Il campione RICA analizzato (tabella 4) risulta quindi costituito da 4.694 aziende localizzate in Pianura Padana e ricadenti nelle Province di Alessandria, Novara, Torino, Bergamo, Brescia, Cremona, Lodi, Mantova, Milano, Monza, Pavia, Bologna, Ferrara, Forlì-Cesena, Modena, Parma, Piacenza, Ravenna, Reggio Emilia, Rimini, Padova, Rovigo, Treviso, Venezia, Verona e Trieste.

Il campione di 4.694 aziende (circa il 22% di quelle registrate a livello nazionale) è composto da 4.206 aziende con produzione convenzionale (89,6% del totale del campione padano) e 488 con produzione biologica (10,4% del totale del campione padano).

Le aziende sono classificate per OTE (Orientamento Tecnico Produttivo) e per tipologie produttive. L'OTE di un'azienda è definito dall'incidenza percentuale della produzione standard delle diverse attività produttive rispetto alla sua produzione standard totale⁴. Rispetto all'OTE esistono le aziende specializzate in produzione animale, le aziende specializzate in produzione vegetale e le aziende miste.

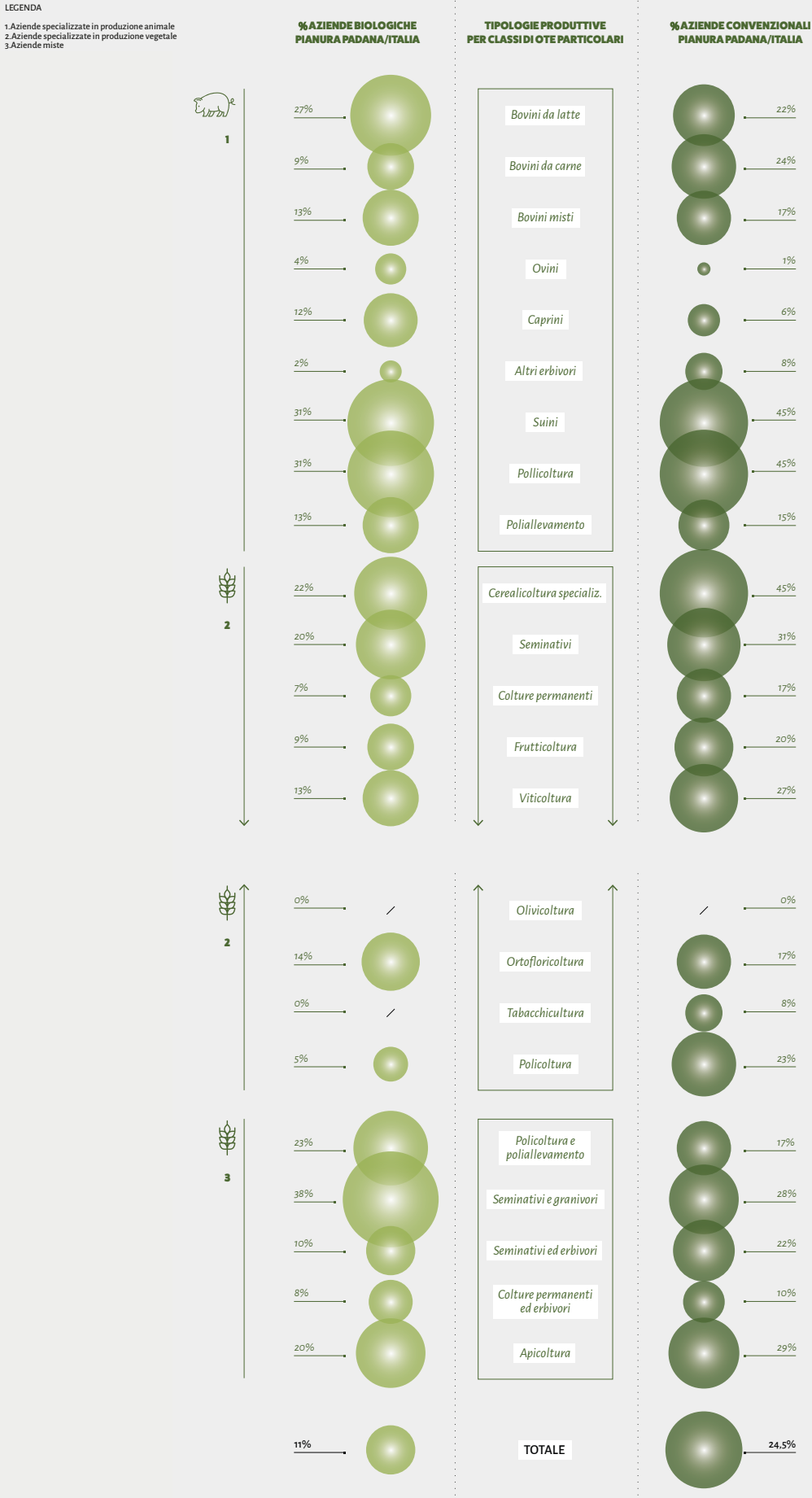
Rispetto ai dati nazionali, la Pianura Padana ha un numero di aziende agricole biologiche percentualmente inferiore (il 10,4% contro il 20,5%). Il grafico seguente mostra il confronto tra i dati della Pianura Padana e nazionali in relazione all'incidenza delle aziende agricole convenzionali e biologiche.

⁴ La produzione standard totale dell'azienda equivale alla somma dei valori ottenuti per ciascuna attività produttiva moltiplicando le produzioni standard per unità per il numero di unità corrispondenti (ettari per le coltivazioni e capi per gli allevamenti).

Tab. 4: Consistenza delle aziende convenzionali e biologiche presenti in Italia ed in Pianura Padana (2019-2020) e relativo confronto.
Nota* le tipologie produttive riportate sono state ottenute dall'aggregazione delle aziende per classi di OTE particolari

OTE	Tipologie produttive	ITALIA (campione RICA)				PIANURA PADANA (campione RICA)			
		Aziende convenzionali	Aziende biologiche	Aziende totali	% aziende biologiche	Aziende convenzionali	Aziende biologiche	Aziende totali	% aziende biologiche
Aziende specializzate in produzione animale	Bovini da latte	1.630	230	1.860	12%	361	61	422	14%
	Bovini da carne	758	200	958	21%	182	17	199	9%
	Bovini misti	265	52	317	16%	44	7	51	14%
	Ovini	910	267	1.177	23%	12	11	23	48%
	Caprini	106	17	123	14%	6	2	8	25%
	Altri erbivori	101	45	146	31%	8	1	9	11%
	Suini	408	29	437	7%	185	9	194	5%
	Pollicoltura	453	71	524	14%	205	22	227	10%
	Poliallevamento	261	45	306	15%	40	6	46	13%
Aziende specializzate in produzione vegetale	Cerealicoltura specializzata	2.117	221	2.338	9%	947	49	996	5%
	Seminativi	1.783	400	2.183	18%	544	81	625	13%
	Colture permanenti	603	312	915	34%	103	23	126	18%
	Frutticoltura	1.282	526	1.808	29%	256	48	304	16%
	Viticoltura	2.189	526	2.715	19%	595	69	664	10%
	Olivicoltura	442	708	1.150	62%	1	0	1	0%
	Ortofloricoltura	1.787	183	1.970	9%	296	25	321	8%
	Tabacchicoltura	139	2	141	1%	11	0	11	0%
	Policoltura	1.154	346	1.500	23%	269	18	287	6%
Aziende miste	Policoltura e poliallevamento	190	73	263	28%	32	17	49	35%
	Seminativi e granivori	50	13	63	21%	14	5	19	26%
	Seminativi ed erbivori	301	81	382	21%	67	8	75	11%
	Colture permanenti ed erbivori	177	62	239	26%	18	5	23	22%
	Apicoltura	34	20	54	37%	10	4	14	29%
TOTALE	-	17.140	4.429	21.569	20,5%	4.206	488	4.694	10,4%

PERCENTUALE DI AZIENDE CONVENZIONALI E BIOLOGICHE
PER TIPOLOGIA PRODUTTIVA (PIANURA PADANA/ITALIA)



Indicatori RICA a livello Aziendale

Al fine di consentire una comparazione tra aziende convenzionali e biologiche, sono state estrapolate dalla Banca dati RICA alcune variabili a partire dalle quali sono stati costruiti gli indicatori funzionali a misurare la sostenibilità delle aziende stesse (tabella 5).
Gli indicatori RN/SAU, RN/UBA e RN/ULT vengono qui utilizzati per stimare la sostenibilità economica, gli indicatori ULT/SAU e ULT/UBA per stimare la sostenibilità sociale (la quantità di lavoro in relazione agli ettari o alla consistenza del bestiame è qui considerata un indice di sostenibilità sociale con l'idea di valorizzare le aziende che impiegano più lavoro, ma è allo stesso tempo anche un indice di efficienza aziendale, insieme all'indicatore RN/ULT).
I valori degli indicatori sono riportati nella tabella 6.

Tab. 5: Schema delle variabili e degli indicatori analizzati a livello aziendale

VARIABILI RICA	DESCRIZIONE
RN (Reddito Netto)	Produzione Lorda Totale meno Costi Variabili (costi correnti + costo del lavoro avventizio) e Costi Fissi (costi pluriennali + costo del lavoro non avventizio). La Produzione Lorda Totale (PLT) è la somma della Produzione Lorda Vendibile (PLV), della Produzione della coltura Reimpiegata in Azienda (PRA) e della Produzione della coltura Trasformata in Azienda (PTA)
ULT (Unità Lavorative Totali)	Manodopera familiare e salariata (costituiscono una Unità Lavorativa i singoli lavoratori familiari ed i salariati fissi quando raggiungono o superano le 2.200 ore lavorative annue; se non vengono raggiunte le 2.200 ore viene calcolata la frazione corrispondente; per gli avventizi, le UL derivano dalle ore complessive diviso 2.200)
PLV (Produzione Lorda Vendibile)	Produzione Lorda Totale meno la quota parte riutilizzata nell'azienda stessa come mezzo di produzione (reimpieghi aziendali)
SAU (Superficie Agricola Utilizzata)	Superficie aziendale effettivamente utilizzata dall'azienda. Sono esclusi dal conteggio superfci a boschi, orti familiari
UBA (unità di bestiame adulto)	Consistenza degli allevamenti
AIUTI UE (Finanziamenti UE-PAC)	Aiuti pubblici provenienti dalla Politica Agricola Comune (pagamenti diretti, non le misure per il biologico)
INDICATORI RICA	DESCRIZIONE
RN/SAU	redditività dell'azienda rispetto alla superficie agricola
RN/UBA	redditività dell'azienda rispetto alla consistenza dell'allevamento
RN/ULT	produttività economica del lavoro
ULT/SAU	occupazione media per superficie agricola utilizzata
ULT/UBA	occupazione media per unità di bestiame adulto
Aiuti UE/PLV	incidenza degli aiuti provenienti dalla PAC rispetto alla Produzione Lorda Vendibile

Tab. 6: Indicatori RICA calcolati a livello di azienda convenzionale e biologica.
Fonte: nostra elaborazione su dati RICA (2019-2020).

		Aziende convenzionali						Aziende biologiche					
		sostenibilità economica		sostenibilità sociale		PAC		sostenibilità economica		sostenibilità sociale		PAC	
OTE	tipologie produttive	RN/SAU	RN/UBA	RN/ULT	ULT/SAU	ULT/UBA	Aiuti UE/PLV	RN/SAU	RN/UBA	RN/ULT	ULT/SAU	ULT/UBA	Aiuti UE/PLV
Aziende specializzate in produzione animale	Altri erbivori	311,310	215,990	2445,590	0,130	0,090	0,270	867,800	32041,110	35167,070	0,020	0,910	0,210
	Bovini da carne	3360,200	681,590	69862,930	0,050	0,010	0,080	1244,250	315,550	29711,460	0,040	0,010	0,070
	Bovini da latte	3823,400	1135,600	61713,210	0,060	0,020	0,060	2451,100	1405,650	64029,970	0,040	0,020	0,070
	Bovini misti	769,410	689,180	27081,070	0,030	0,030	0,180	1352,780	741,290	58021,870	0,020	0,010	0,090
	Caprini	-122,230	-82,150	-655,530	0,190	0,130	0,070	4329,400	3690,180	31366,500	0,140	0,120	0,010
	Ovini	292,170	677,420	25666,650	0,010	0,030	0,480	1567,690	1926,740	33621,540	0,050	0,060	0,130
	Poliallevamento	2084,350	302,980	41006,630	0,050	0,010	0,060	1458,690	1604,700	39091,280	0,040	0,040	0,080
	Pollicoltura	10524,290	198,590	51755,180	0,200	-	0,020	10351,370	120,490	56960,960	0,180	-	0,030
	Suini	4505,960	292,190	64409,740	0,070	-	0,020	7339,470	559,300	105798,630	0,070	0,010	0,050
	Valore medio allevamenti	3910,310	423,270	58987,940	0,070	0,010	0,050	2519,800	432,400	59249,840	0,040	0,010	0,070
Aziende specializzate in produzione vegetale	Cerealicoltura specializzata	830,210	-	30421,600	0,30	-	0,200	625,040	-	25155,280	0,020	-	0,180
	Colture permanenti	3092,020	-	29833,460	0,100	-	0,050	2326,810	-	20859,620	0,110	-	0,040
	Colture permanenti ed erbivori	2568,090	-	17720,850	0,140	-	0,030	3685,680	-	31651,600	0,120	-	0,050
	Frutticoltura	1821,160	-	8013,130	0,230	-	0,000	-	-	-	-	-	-
	Olivicoltura	1888,200	-	29607,170	0,060	-	0,070	2329,970	-	22020,460	0,110	-	0,030
	Ortofloricoltura	1766,410	-	24981,550	0,070	-	0,080	1055,420	-	16253,070	0,060	-	0,090
	Policoltura	773,940	-	22284,660	0,030	-	0,150	414,440	-	16178,190	0,030	-	0,170
	Seminativi	3512,020	-	60305,100	0,060	-	0,170	-	-	-	-	-	-
	Tabacchicoltura	3512,020	-	27817,700	0,140	-	0,030	10549,360	-	46437,350	0,230	-	0,010
	Viticoltura	1333,100	-	26911,080	0,050	-	0,110	1739,420	-	29913,970	0,060	-	0,070
	Valore medio coltivazioni	1810,540	-	20595,500	0,090	-	0,070	718,900	-	14437,310	0,050	-	0,140
Aziende Miste	Policoltura e poliallevamento	2025,210	-	33580,890	0,060	-	0,070	2083,410	-	32694,710	0,060	-	0,130
	Seminativi e granivori	1331,220	-	31334,850	0,040	-	0,140	1321,600	-	43580,540	0,030	-	0,140
	Seminativi ed erbivori	1248,640	-	39240,640	0,030	-	0,110	1654,230	-	51844,080	0,030	-	0210
	Apicoltura	23695,110	-	30074,570	0,790	-	0,100	7037,280	-	33739,010	0,210	-	0,040
	Valore medio miste	1380,230	-	32932,810	0,040	-	0,100	1380,110	-	35768,170	0,040	-	0,170
	Valore medio complessivo	3295,490	423,790	32569,440	0,120	-	0,110	3084,030	434,170	38505,740	0,080	-	0,090

Sintesi dei risultati a livello aziendale

Applicando agli indicatori il procedimento a numero indice variabile⁵ si ottiene la figura seguente, dove in verde sono evidenziati i valori dei numeri indice per i quali si ravvisa una convenienza delle aziende biologiche, ovvero quelli maggiori di 1 (in viola sono evidenziati quelli il cui valore è uguale a 1). Dai valori si deduce che esiste una grande variabilità tra le diverse tipologie produttive all'interno dei tre OTE analizzati. Considerando i valori medi per i tre OTE si possono trarre le seguenti conclusioni:

- sostenibilità economica:
 - aziende specializzate in produzioni animali: le imprese biologiche hanno una redditività media per capo leggermente maggiore (RN/UBA=1,022) e una redditività media per unità lavorativa pressoché equivalente (RN/ULT=1,004) a quelle convenzionali
 - aziende specializzate in produzioni vegetali: le aziende convenzionali sono più redditizie delle biologiche, sia in termini di reddito medio per superficie agricola (RN/SAU=0,397) che in termini di reddito medio per unità lavorativa (RN/ULT=0,701)
 - aziende miste: le aziende biologiche e quelle convenzionali hanno la stessa redditività media per superficie agricola (RN/SAU=1,000); le aziende biologiche hanno una redditività media per unità lavorativa (RN/ULT=1,086) leggermente superiore a quelle convenzionali
- sostenibilità sociale:
 - aziende specializzate in produzioni animali: le aziende convenzionali e quelle biologiche hanno la stessa occupazione media per capo (ULT/UBA=1,000)
 - aziende specializzate in produzioni vegetali: le aziende convenzionali hanno una occupazione media per superficie agricola maggiore delle biologiche (ULT/SAU=0,556)
 - aziende miste: le aziende convenzionali e quelle biologiche hanno una occupazione media per unità di superficie equivalente (ULT/SAU=1,000)
- incidenza degli aiuti UE: per tutti e tre gli OTE si registra una maggiore incidenza degli aiuti UE per le aziende biologiche (Aiuti UE/PLV=1,4 per le aziende specializzate in produzioni animali; 2,0 per quelle specializzate in produzioni vegetali; 1,7 per quelle miste); quindi l'UE sostiene maggiormente le aziende che producono esternalità positive.

.....
5 Come già descritto, si tratta del rapporto tra il valore degli indicatori calcolati per i sistemi biologici e il valore degli indicatori calcolati per i sistemi convenzionali.

ANALISI RICA AZIENDE
PERFORMANCE ECONOMICO-SOCIALI (Numeri indice a base variabile)
RAPPORTO TRA BIOLOGICO E CONVENZIONALE

LEGENDA

I valori per i quali si ravvisa una convenienza del processo produttivo biologico

I valori per i quali il processo produttivo biologico e quello convenzionale si equivalgono

		NUMERI INDICE A BASE VARIABILE (biologico/convenzionale)					
		sostenibilità economica			sostenibilità sociale		PAC
OTE	tipologie produttive	RN/SAU	RN/UBA	RN/ULT	ULT/SAU	ULT/UBA	Aiuti UE/PLV
Aziende specializzate in produzione animale	Altri erbivori	2,788	148,345	14,380	0,145	10,111	0,778
	Bovini da carne	0,370	0,463	0,425	0,800	1,000	0,875
	Bovini da latte	0,641	1,238	1,038	0,667	1,000	1,167
	Bovini misti	1,758	1,076	2,143	0,667	0,333	0,500
	Caprini	N.D.	N.D.	N.D.	0,737	0,923	0,143
	Ovini	5,366	2,844	1,310	5,000	2,000	0,271
	Poliallevamento	0,700	5,296	0,953	0,800	4,000	1,333
	Pollicoltura	0,984	0,607	1,101	0,900	-	1,500
	Suini	1,629	1,914	1,643	1,000	-	2,500
	Valore medio allevamenti	0,644	1,022	1,004	0,571	1,000	1,400
Aziende specializzate in produzione vegetale	Cerealicoltura specializzata	0,753	-	0,827	0,667	-	0,900
	Colture permanenti	0,753	-	0,699	1,100	-	0,800
	Colture permanenti ed erbivori	1,435	-	1,786		-	1,667
	Frutticoltura	-	-	-	0,857	-	-
	Olivicoltura	1,234	-	0,744	1,833	-	0,429
	Ortofloricoltura	0,597	-	0,651	0,857	-	1,125
	Policoltura	0,535	-	0,726	1,000	-	1,133
	Seminativi	-	-	-	-	-	-
	Tabacchicoltura	2,716	-	1,669	1,643	-	0,333
	Viticoltura	1,305	-	1,112	1,200	-	0,636
	Valore medio coltivazioni	0,397	-	0,701	0,556	-	2,000
	Policoltura e poliallevamento	1,029	-	0,974	1,000	-	1,857
Aziende Miste	Seminativi e granivori	0,993	-	1,391	0,750	-	1,000
	Seminativi ed erbivori	1,325	-	1,321	1,000	-	1,909
	Apicoltura	0,297	-	1,122	0,266	-	0,400
	Valore medio miste	1,000	-	1,086	1,000	-	1,700

Indicatori RICA a livello di processo produttivo

Come specificato nell'introduzione, l'analisi delle caratteristiche strutturali e dei risultati economici è stata fatta anche per processo produttivo (in particolare con lo scopo di poterla affiancare con l'analisi del bilancio di carbonio, possibile solo a livello di singole colture/allevamenti). Sono stati analizzati solo alcuni processi produttivi, scelti sulla base della loro significatività a livello regionale. In particolare, per quanto riguarda i processi produttivi vegetali, sono scelti quelli relativi ad erba medica, frumento, mais, prati, pascoli e riso perché sono quelli che in Regione Lombardia occupano gran parte della SAU; le ortive sono state scelte per la loro importanza in termini di politiche e di diversificazione. Per quanto riguarda i processi produttivi animali, sono stati scelti quelli relativi a bovini da carne e da latte e suini perché coinvolgono i numeri maggiori di capi. Per i diversi processi produttivi sono state estrapolate dalla Banca dati RICA alcune variabili a partire dalle quali sono stati costruiti gli indicatori (tabella 7) funzionali a misurare la sostenibilità delle aziende stesse.

Gli indicatori ML/SAU, CV/SAU, ML/UBA E CV/UBA vengono qui utilizzati per stimare la sostenibilità economica, gli indicatori ML/ORE UOMO, ORE UOMO/SAU E ORE UOMO/UBA per stimare la sostenibilità sociale/economica (la quantità di lavoro in relazione agli ettari o alla consistenza del bestiame è qui considerata un indice di sostenibilità sociale con l'idea di valorizzare i processi che impiegano più lavoro, ma è allo stesso tempo anche un indice di efficienza aziendale, insieme all'indicatore RN/ULT). I costi relativi ad acqua, energia, concimi, fitosanitari e mangimi (riferiti alla SAU e/o agli UBA) vengono utilizzati come proxy di sostenibilità ambientale. Il calcolo dei numeri indice a base variabile deriva dal rapporto tra il valore degli indicatori calcolati per i processi produttivi biologici e il valore degli indicatori calcolati per quelli convenzionali. I valori sono riportati nelle figure successive, nelle quali in verde sono evidenziati i valori dei numeri indice per i quali si ravvisa una convenienza dei processi produttivi biologici, ovvero:

- quelli maggiori di 1 per gli indicatori ML/ha, ML/UBA, ML/Ore Uomo (maggiore redditività) e Ore Uomo/ha, Ore Uomo/UBA (maggiore sostenibilità sociale)
- quelli minori di 1 per gli indicatori CV/ha, CV/UBA (minore incidenza dei costi variabili) e Acqua/ha, Acqua/UBA, Energia/ha, Energia/UBA, Concimi/ha, Mangimi/UBA, Difesa/ha (maggiore sostenibilità ambientale)

Tab. 7: Schema delle variabili e degli indicatori analizzati a livello di processo produttivo

Processo produttivo vegetale		Processo produttivo animale	
VARIABILI RICA	DESCRIZIONE	VARIABILI RICA	DESCRIZIONE
ML (Margine Lordo)	Produzione Lorda Totale al netto delle spese specifiche delle colture (al netto anche del costo del lavoro)	ML (Margine Lordo)	Produzione Lorda Totale al netto delle spese specifiche dell'allevamento (compreso il costo del lavoro)
SAU (Superficie Agricola Utilizzata)	Superficie effettivamente utilizzata in coltivazioni agricole	UBA (Unità di Bovino Adulto))	Consistenza degli allevamenti
CV (Costi Variabili)	Costi per l'acquisto di prodotti impiegati nell'annata agraria (acqua, energia, concimi, ecc)	CV (Costi Variabili)	-
Acqua	Spese per l'acquisto di acqua	Acqua	Spese per l'acquisto di acqua
Energia	Spese per l'acquisto di energia elettrica	Energia	Spese per l'acquisto di energia elettrica
Concimi	Spese per l'acquisto di fertilizzanti	Mangimi	Spese per l'acquisto di mangimi
Difesa	Spese per l'acquisto di prodotti fitosanitari	-	-
Ore di lavoro uomo	Ore di lavoro impiegate nello specifico processo produttivo	Ore di lavoro uomo	Ore di lavoro impiegate nello specifico processo produttivo
-	-	-	-
INDICATORI RICA	DESCRIZIONE	INDICATORI RICA	DESCRIZIONE
ML/SAU	Redditività del processo rispetto alla superficie agricola	ML/UBA	misura la redditività per unità di Unità di Bovino Adulto
CV/SAU	Incidenza dei costi variabili rispetto alla superficie agricola	CV/ UBA	l'incidenza dei costi variabili per unità Unità di Bovino Adulto
Acqua/SAU	Spese per acquisto di acqua in realzione alla superficie agricola	Acqua/ UBA	Spese per l'acquisto di acqua in relazione alla consistenza dell'allevamento
Energia/SAU	Spese per acquisto di energia in realzione alla superficie agricola	Energia/ UBA	Spese per l'acquisto di energia in relazione alla consistenza dell'allevamento
Concimi/SAU	Spese per acquisto di concimi in realzione alla superficie agricola	Mangimi/ UBA	Spese per l'acquisto di mangimi in relazione alla consistenza dell'allevamento
Difesa /SAU	Spese per acquisto di fitosanitari in realzione alla superficie agricola	-	-
ML/ore uomo	Produttività economica del lavoro	ML/ore uomo	Produttività economica del lavoro
Ore di lavoro uomo/SAU	occupazione media per superficie agricola utilizzata	Ore di lavoro uomo/ UBA	occupazione media per unità di bestiame

Processo produttivo vegetale

I valori degli indicatori calcolati per i processi produttivi vegetali sono riportati nella tabella 8.

Applicando agli indicatori il procedimento a numero indice variabile si ottiene la tabella a pagina 70, dove in verde sono evidenziati gli indicatori per i quali si ravvisa una convenienza del processo biologico rispetto a quello convenzionale.

Dai valori in tabella si deduce che esiste una grande variabilità tra i diversi processi produttivi, ma si può concludere che per la maggior parte dei processi produttivi:

- la redditività (ML/ha) è maggiore per il processo biologico;
- i costi variabili (CV/ha) sono minori per il processo biologico;
- i costi associabili ad alcuni impatti ambientali (acqua, energia, concimi, difesa) sono minori per i processi biologici.
- l'occupazione media ad ettaro (ore uomo/ha) è maggiore per i processi convenzionali (questo dipende probabilmente dal fatto che le due tipologie hanno lo stesso profilo tecnologico, ma il biologico deve fare un minor numero di lavorazioni e di trattamenti)
- la produttività economica del lavoro (ML/ore uomo) è maggiore per i processi biologici (del resto questo indice è strettamente legato al precedente: un minor impiego del lavoro implica una maggiore redditività dello stesso, non essendoci differenze di trattamento retributivo tra biologico e convenzionale, per cui se uno dei due indici è a favore del biologico, l'altro è a favore del convenzionale).

Tab. 8: Valori medi degli indicatori calcolati a livello di processo produttivo vegetale

**erba medica (alimentazione animale); frumento tenero (uso umano); mais a maturazione cerosa (insilato di mais per alimentazione animale); mais ibrido (prevalentemente alimentazione animale); mais in erba (alimentazione animale); mais nostrano (uso umano); prato pascolo generico non avvicendato (pascolo); prato pascolo permanente (prato/pascolo sfalciato, la cui superficie rimane permanente per almeno 5 anni); prato polifita (costituito da 4/5 specie diverse).*

	Indicatori di sostenibilità economica				Indicatori di sostenibilità ambientale								Indicatori di sostenibilità sociale/economica			
	ML/ha (€/ha)	ML/ha (€/ha)	CV/ha (€/ha)	CV/ha (€/ha)	Acqua/ha (€/ha)	Acqua/ha (€/ha)	Energia/ha (€/ha)	Energia/ha (€/ha)	Concimi/ha (€/ha)	Concimi/ha (€/ha)	Difesa/ha (€/ha)	Difesa/ha (€/ha)	Ore_Uomo/ha (ore/ha)	Ore_Uomo/ha (ore/ha)	ML/Ore_Uo- mo (€/ore)	ML/Ore_Uo- mo (€/ore)
Processo produttivo*	convenzionale	biologico	convenzionale	biologico	convenzionale	biologico	convenzionale	biologico	convenzionale	biologico	convenzionale	biologico	convenzionale	biologico	convenzionale	biologico
Ortive nel complesso	7.487,11	6.853,85	4.247,57	2.472,57	14,88	43,00	61,71	45,55	704,83	385,23	382,32	177,84	129,88	177,81	57,65	38,55
Erba medica	810,03	821,52	368,63	297,19	7,40	0,78	8,34	21,54	98,73	80,04	37,83	15,67	22,46	11,01	36,06	74,60
Frumento tenero	713,57	905,13	582,53	547,77	4,53	1,22	6,74	6,19	157,00	193,33	104,91	70,41	19,46	16,27	36,66	55,62
Mais a maturazione cerosa	992,63	1.253,00	963,55	809,78	29,27	4,82	11,92	9,59	218,13	207,15	138,17	105,53	22,93	18,09	43,28	69,27
Mais ibrido	1.052,26	1.181,77	881,33	818,27	31,42	36,75	16,45	8,56	244,19	200,82	149,42	84,00	31,67	23,52	33,23	50,25
Mais in erba	943,38	3.893,88	1.090,90	755,88	56,77	0,00	9,73	37,50	274,09	375,00	214,71	87,13	23,28	6,00	40,52	648,98
Mais nostrano	601,85	697,93	1.040,22	1.046,28	19,01	1,28	28,62	6,47	213,73	238,13	227,61	196,58	34,75	17,61	17,32	39,62
Prato pascolo generico non avvicendato	397,84	465,06	107,37	130,81	0,53	0,00	3,32	5,82	31,84	36,00	2,71	6,57	7,61	18,01	52,26	25,82
Prato pascolo permanente	597,86	546,09	177,24	124,36	12,46	4,49	10,75	3,57	42,87	35,39	4,11	7,10	15,20	12,24	39,34	44,62
Prato polifita	655,69	488,75	227,97	175,23	7,96	0,65	5,56	3,19	51,36	41,38	7,62	19,28	20,95	15,54	31,30	31,46
Riso	1.478,09	2.294,85	1.019,81	1.171,64	76,37	86,72	29,07	23,34	269,91	180,84	303,32	154,62	16,53	35,90	89,42	63,92
MEDIANA	810,03	905,13	881,33	755,88	14,88	1,28	10,75	8,56	213,73	193,33	138,17	84,00	22,46	17,61	39,34	50,25

ANALISI RICA PROCESSO PRODUTTIVO VEGETALE
PERFORMANCE ECONOMICO-SOCIALI (Numeri indice a base variabile)
RAPPORTO TRA BIOLOGICO E CONVENZIONALE

LEGENDA

I valori per i quali si ravvisa una convenienza del processo produttivo biologico

Processo produttivo	NUMERI INDICI A BASE VARIABILE (biologico/tradizionale)							
	sostenibilità economica		sostenibilità ambientale				sostenibilità sociale/economica	
	ML/ha	CV/ha	Acqua/ha	Energia/ha	Concimi/ha	Difesa/ha	Ore_Uomo/ha	ML/Ore_Uomo
Ortive nel complesso	0,915	0,582	2,889	0,738	0,547	0,465	1,369	0,669
Erba medica	1,014	0,806	0,105	2,581	0,811	0,414	0,490	2,069
Frumento tenero	1,268	0,940	0,269	0,919	1,231	0,671	0,836	1,517
Mais a maturazione cerosa	1,262	0,840	0,165	0,805	0,950	0,764	0,789	1,601
Mais ibrido	1,123	0,928	1,169	0,521	0,822	0,562	0,743	1,512
Mais in erba	4,128	0,693	0,000	3,854	1,368	0,406	0,258	16,015
Mais nostrano	1,160	1,006	0,067	0,226	1,114	0,864	0,507	2,288
Prato pascolo generico non avvicendato	1,169	1,218	0,000	1,754	1,131	2,422	2,366	0,494
Prato pascolo permanente	0,913	0,702	0,360	0,333	0,825	1,728	0,805	1,134
Prato polifita	0,745	0,769	0,082	0,574	0,806	2,530	0,742	1,005
Riso	1,553	1,149	1,136	0,803	0,670	0,510	2,172	0,715

Processo produttivo animale

I valori degli indicatori calcolati per i processi produttivi animali sono riportati nella tabella 9.

Applicando agli indicatori il procedimento a numero indice variabile si ottiene la tabella nella pagina seguente, dove in verde sono evidenziati gli indicatori per i quali si ravvisa una convenienza del processo biologico rispetto a quello convenzionale. Per semplicità si ignorano nel commento i bovini ad attitudine mista e quelli per i quali non si conosce l'attitudine (bovini N.D.)

- Dai valori in tabella si deduce che esiste una grande variabilità tra i diversi processi produttivi e si riescono a trarre solo le seguenti conclusioni specifiche per processo produttivo:
- redditività (ML/UBA):
 - per tutte le tipologie è maggiore per il processo convenzionale
 - costi (CV/UBA):
 - per bovini da carne e suini i costi (CV/ha) sono minori per il processo biologico
 - per i bovini da latte sono minori per il convenzionale
 - costi associabili ad alcuni impatti ambientali (acqua, energia, mangimi) sono molto variabili
 - occupazione media per unità di bestiame (ore uomo/UBA):
 - per i bovini da carne e da latte è maggiore per i processi biologici
 - per i suini è maggiore per quelli convenzionali
 - la redditività del lavoro (ML/ore uomo): ha l'andamento opposto dell'indicatore ore uomo/UBA
 - per i bovini da carne e da latte è maggiore per i processi convenzionali
 - per i suini è maggiore per quelli biologici

Tab. 9: Valori medi degli indicatori calcolati a livello di processo produttivo animale

		Indicatori di sostenibilità economica				Indicatori di sostenibilità ambientale						Indicatori di sostenibilità sociale/economica			
		ML/UBA (€/UBA)	ML/UBA (€/UBA)	CV/UBA (€/UBA)	CV/UBA (€/UBA)	Acqua/UBA (€/UBA)	Acqua/UBA (€/UBA)	Energia/UBA (€/UBA)	Energia/UBA (€/UBA)	Mangimi/UBA (€/UBA)	Mangimi/UBA (€/UBA)	Ore_Uomo/UBA (ore/UBA)	Ore_Uomo/UBA (ore/UBA)	ML/Ore_Uomo (€/ora)	ML/Ore_Uomo (€/ora)
processo produttivo animale	attitudine	convenzionale	biologico	convenzionale	biologico	convenzionale	biologico	convenzionale	biologico	convenzionale	biologico	convenzionale	biologico	convenzionale	biologico
BOVINI	Bovini da carne	679,92	402,42	752,59	331,55	5,47	5,63	21,67	7,73	403,21	89,39	15,51	20,99	43,83	19,17
	Bovini da latte	1.258,83	1.243,29	1.089,27	1.123,85	6,60	7,18	40,82	46,44	531,67	555,00	17,19	17,82	73,25	69,79
	Bovini misti	654,42	670,69	779,33	1.000,55	7,91	5,94	31,02	44,32	344,71	536,40	38,39	38,34	17,05	17,49
	bovini N.D.	660,14	788,86	758,12	889,68	4,64	6,38	18,01	21,03	540,02	331,61	20,19	43,47	32,70	18,15
SUINI	Suini	462,02	356,78	685,86	291,92	1,68	0,87	23,10	10,38	524,64	225,84	6,83	5,16	67,63	69,17
	Mediana	660,14	670,69	758,12	889,68	5,47	5,94	23,10	21,03	524,64	331,61	17,19	20,99	43,83	19,17

ANALISI RICA PROCESSO PRODUTTIVO ANIMALE
PERFORMANCE ECONOMICO-SOCIALI (Numeri indice a base variabile)
RAPPORTO TRA BIOLOGICO E CONVENZIONALE

LEGENDA

I valori per i quali si ravvisa una convenienza del processo produttivo biologico

	NUMERI INDICI A BASE VARIABILE (biologico/tradizionale)						
	sostenibilità economica		sostenibilità ambientale			sostenibilità sociale/economica	
Processo produttivo	ML/UBA	CV/UBA	Acqua/ UBA	Energia/ UBA	Mangimi/ UBA	Ore_Uomo/UBA	ML/ Ore_Uomo
Bovini da carne	0,592	0,441	1,030	0,357	0,222	1,353	0,437
Bovini da latte	0,988	1,032	1,088	1,138	1,044	1,037	0,953
Bovini misti	1,025	1,284	0,751	1,429	1,556	0,999	1,026
bovini N.D.	1,195	1,174	1,376	1,168	0,614	2,153	0,555
Suini	0,772	0,426	0,515	0,449	0,430	0,755	1,023

quella ambientale (costi di acqua, energia e mangimi) e sociale è prevalentemente a favore del biologico. In particolare, per la sostenibilità sociale si possono fare le stesse considerazioni fatte per i processi produttivi vegetali: la sostenibilità sociale è a favore del biologico per i prodotti a maggior valore aggiunto (per esempio i bovini da carne) e, dove si verifica una perdita percentuale in termini di lavoro, questa è minore rispetto al guadagno percentuale in termini di decarbonizzazione: per esempio nel caso dei suini biologici si ha una perdita di lavoro pari al 24% ma un assorbimento di CO₂ maggiore del 33%.

SINTESI DELLE ANALISI (PER PROCESSO
PRODUTTIVO)

La figura nelle pagine seguenti mostra la sintesi dei risultati delle due analisi (performance economiche, sociali e ambientali e contributo alla decarbonizzazione) per i processi produttivi vegetali e animali. Per i primi, il bilancio del carbonio è sempre decisamente a favore dei processi produttivi biologici (per il prato pascolo generico non avvicendato la convenienza è meno marcata) in termini di maggiori assorbimenti o assorbimenti al posto di emissioni (e, nel solo caso del riso, minori emissioni). La sostenibilità economica ed ambientale (costi di acqua, energia, concimi e difesa) è prevalentemente a favore del biologico. La sostenibilità sociale (impiego di lavoro) è prevalentemente a favore del convenzionale (nel senso che il convenzionale impiega più lavoro). Quest’ultimo dato ha destato qualche sorpresa ed è probabilmente interpretabile alla luce del fatto che il biologico da un lato richiede meno operazioni colturali (trattamenti) e dall’altro, nello specifico in Pianura Padana, ha lo stesso profilo tecnologico del convenzionale (le coltivazioni sono meno intensive e non usano mezzi tecnici, ma il lavoro è sempre legato ad operazioni meccaniche). Bisogna però rimarcare due questioni: per i prodotti a maggior valore aggiunto (per esempio le ortive) il biologico usa più lavoro del convenzionale; dove si verifica una perdita percentuale in termini di lavoro per il biologico, questa è minore rispetto al guadagno in termini di decarbonizzazione (per esempio nel caso del frumento biologico si ha una quantità di lavoro impiegata pari all’84% e assorbimento di CO₂ invece che emissioni di GHG).

Anche per i processi produttivi animali il bilancio del carbonio è sempre a favore del biologico, in questo caso in termini di minori emissioni. La sostenibilità economica è prevalentemente a favore del convenzionale,



SINTESI ANALISI EX-ACT ED ANALISI RICA PER I PROCESSI PRODUTTIVI VEGETALI

I valori per i quali si ravvisa una convenienza del processo produttivo biologico sono evidenziati in verde

ANALISI EX-ACT

C O L T U R E A N N U A L I	TIPOLOGIA DI COLTURA	BILANCIO DEL CARBONIO I processi estensivi comportano:
	Patate e ortaggi	assorbimento invece che emissione
	Frumento	assorbimento invece che emissione
	Granoturco da granella	assorbimento invece che emissione

P E R M A N E N T I	TIPOLOGIA DI COLTURA	BILANCIO DEL CARBONIO I processi estensivi comportano:
	Pascoli	maggiore assorbimento (+5%)

ANALISI RICA

NUMERI INDICI A BASE VARIABILE
indicatori processo biologico/indicatori processo convenzionale

PROCESSO PRODUTTIVO	SOSTENIBILITÀ ECONOMICA		Acqua/ha	SOSTENIBILITÀ AMBIENTALE			SOSTENIBILITÀ SOCIALE/ECONOMICA	
	ML/ha	CV/ha		Energia/ha	Concimi/ha	Difesa/ha	Ore_Uomo/ha	ML/Ore_Uomo
Ortive nel complesso	0,915	0,582	2,889	0,738	0,547	0,465	1,369	0,669
Frumento tenero	1,268	0,940	0,269	0,919	1,231	0,671	0,836	1,517
Mais a maturazione cerosa	1,262	0,840	0,165	0,805	0,950	0,764	0,789	1,601
Mais ibrido	1,123	0,928	1,169	0,521	0,822	0,562	0,743	1,512
Mais in erba	4,128	0,693	0,000	3,854	1,368	0,406	0,258	16,015
Mais nostrano	1,160	0,693	0,067	0,226	1,114	0,864	0,507	2,288

PROCESSO PRODUTTIVO	SOSTENIBILITÀ ECONOMICA		Acqua/ha	SOSTENIBILITÀ AMBIENTALE			SOSTENIBILITÀ SOCIALE/ECONOMICA	
	ML/ha	CV/ha		Energia/ha	Concimi/ha	Difesa/ha	Ore_Uomo/ha	ML/Ore_Uomo
Prato pascolo generico non avvicendato	1,169	1,218	0,000	1,754	1,131	2,422	2,366	0,494

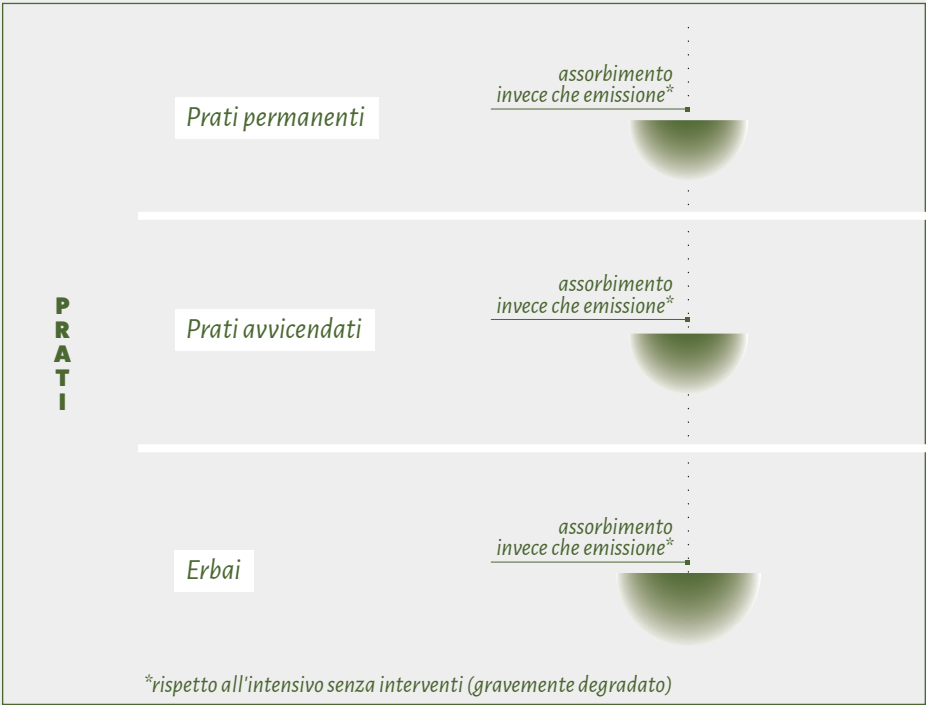


SINTESI ANALISI EX-ACT ED ANALISI RICA PER I PROCESSI PRODUTTIVI VEGETALI



I valori per i quali si ravvisa una convenienza del processo produttivo biologico sono evidenziati in verde

ANALISI EX-ACT



ANALISI RICA

NUMERI INDICI A BASE VARIABILE
indicatori processo biologico/indicatori processo convenzionale

PROCESSO PRODUTTIVO	SOSTENIBILITÀ ECONOMICA		Acqua/ha	SOSTENIBILITÀ AMBIENTALE			SOSTENIBILITÀ SOCIALE/ECONOMICA	
	ML/ha	CV/ha		Energia/ha	Concimi/ha	Difesa/ha	Ore_Uomo/ha	ML/Ore_Uomo
Riso	1,553	1,149	1,136	0,803	0,670	0,510	2,172	0,715

PROCESSO PRODUTTIVO	SOSTENIBILITÀ ECONOMICA		Acqua/ha	SOSTENIBILITÀ AMBIENTALE			SOSTENIBILITÀ SOCIALE/ECONOMICA	
	ML/ha	CV/ha		Energia/ha	Concimi/ha	Difesa/ha	Ore_Uomo/ha	ML/Ore_Uomo
Prato pascolo permanente	0,913	0,702	0,360	0,333	0,825	1,728	0,805	1,134
Erba medica	1,014	0,806	0,105	2,581	0,811	0,414	0,490	2,069
Prato polifita	0,745	0,769	0,082	0,574	0,806	2,530	0,742	1,005



SINTESI ANALISI EX-ACT ED ANALISI RICA PER I PROCESSI PRODUTTIVI ANIMALI



I valori per i quali si ravvisa una convenienza del processo produttivo biologico sono evidenziati in verde

ANALISI EX-ACT

A L L E V A M E N T O	TIPOLOGIA DI COLTURA	BILANCIO DEL CARBONIO I processi estensivi comportano:
	Bovini da carne	minore emissione (-4%)
	Bovini da latte	minore emissione (-11%)
	Suini	minore emissione (-33%)

ANALISI RICA

NUMERI INDICI A BASE VARIABILE
indicatori processo biologico/indicatori processo convenzionale

PROCESSO PRODUTTIVO	SOSTENIBILITÀ ECONOMICA		Acqua/UBA	SOSTENIBILITÀ AMBIENTALE		SOSTENIBILITÀ SOCIALE/ECONOMICA	
	ML/UBA	CV/UBA		Energia/UBA	Mangimi/UBA	Ore_Uomo/UBA	ML/Ore_Uomo
Bovini da carne	0,592	0,441	1,030	0,357	0,222	1,353	0,437
Bovini da latte	0,988	1,032	1,088	1,138	1,044	1,037	0,953
Suini	0,772	0,426	0,515	0,449	0,430	0,755	1,023

LA PAC: CONFRONTO TRA AGRICOLTURA BIOLOGICA
E CONVENZIONALE

Le tecniche di agricoltura biologica comprendono :

- Divieto dell'uso di pesticidi chimici e fertilizzanti artificiali
- Rotazione delle colture per un uso efficiente delle risorse
- Limiti molto rigorosi per l'utilizzo di antibiotici destinati agli animali da allevamento
- Divieto dell'uso di organismi geneticamente modificati (OGM)
- Utilizzo di risorse in loco per i fertilizzanti naturali e i mangimi
- Allevamento a terra e all'aria aperta e utilizzo di mangimi biologici
- Utilizzo di pratiche zootecniche adatte alle specifiche esigenze degli animali

Il biologico e la PAC: obblighi derivanti dalla adesione all'azione SRA29 ACA29

All'interno della nuova PAC, l'agricoltura biologica viene finanziata unicamente con la SRA29 "Pagamento al fine di adottare e mantenere pratiche e metodi di produzione biologica". L'intervento prevede un pagamento annuale per ettaro di SAU a favore degli agricoltori o delle associazioni di agricoltori che aderiscono al metodo di produzione di agricoltura biologica e si articola in due azioni: SRA29.1 Azione - Conversione all'agricoltura biologica; SRA29.2 Azione - Mantenimento dell'agricoltura biologica.

Di seguito una sintesi dei principali obblighi derivanti dall'adesione alla SRA29.

Contratto con Organismo di Certificazione autorizzato dal MIPAAF (oneroso per l'azienda) e comunicazione su fascicolo aziendale.

Elaborazione del Piano Gestione Agronomica:

- stesura piano rotazione quinquennale e aggiornamento annuale tramite Programma Annuale di Produzione (PAP) da inserire sul fascicolo aziendale
- identificazione dei "confini a rischio contaminazione" con evidenza della procedura di controllo (eliminazione prodotto per 8 metri dal confine, destinazione prodotto non nel circuito bio, protezione con siepe o altro)
- obbligo uso sementi bio certificate o obbligo di richiesta deroga al Ministero se semente bio non presente sul mercato (ma sempre con obbligo di esenzione da trattamenti fitosanitari: roditori, conservativi, antimuffe, ecc.)
- obbligo di tenere registrazione di tutti gli acquisti con conservazione dei Certificati di Conformità bio per ogni fornitore
- obbligo di vendita di prodotto certificato bio solo ad acquirente bio con conservazione del Certificato di Conformità; se il prodotto viene venduto ad un acquirente non bio non può essere accompagnato dal certificato bio
- divieto di commercializzare come biologici i prodotti ottenuti durante la fase di conversione (due anni)

Elaborazione Piano Gestione Zootecnica:

- verifica del rapporto tra numero capi ed ettari aziendali (anche con accordi comprensoriali notificati all'Organismo di Controllo; in questo caso la superficie acquisita attraverso accordo comprensoriale deve essere destinata all'alimentazione della mandria e soggetta ai controlli specifici)

.....
2 www.europarl.europa.eu/news/it/headlines/society/20180404STO00909/il-mercato-degli-alimenti-biologici-le-nuove-regole-dell-ue-infografica

- obbligo di produrre almeno il 70% della sostanza secca necessaria all'alimentazione
- obbligo di predisporre scheda della razione per ogni tipologia di bestiame (vacche, manze, ecc)
- obbligo di somministrare latte di vacca ai vitelli fino a svezzamento
- obbligo di tenere il vitellame in box collettivi salvo particolari esigenze sanitarie
- divieto uso sostanze ormonali salvo casi eccezionali (prostaglandina) su stretto controllo veterinario
- obbligo contenimento uso dei farmaci
- verifica obbligatoria del rapporto tra numero capi e superfici di deambulazione a disposizione
- obbligo del pascolamento anche a rotazione sui gruppi o somministrazione verde
- decornificazione concessa su prescrizione veterinaria in caso di pericolosità negli stalli o ottenuta con selezione genetica
- piano di controllo di eventuali potenziali inquinamenti in ogni fase di processo (ricorso ai terzisti e quindi lavaggio e disinfezione macchinari, uso di intermediari certificati ad esempio nei trasporti di animali o materie prime, ecc.)

Il biologico e la PAC: le principali differenze con l'agricoltura convenzionale

*Ecoschema 4: sistemi foraggeri estensivi e avvicendamento culturale

Tecniche gestionali agricoltura	PAC 2014-2020		PAC 2023-2027	
	Metodo biologico	Metodo convenzionale	Metodo biologico	Metodo convenzionale
rotazione	obbligatorio	libero	obbligatorio	obbligatorio se adesione ecoschema 4*
uso agrofarmaci di sintesi	vietato	consentito	vietato	consentito; limitato se adesione SRA 19 ACA 19**
registro trattamenti fitosanitari	obbligatorio	obbligatorio	obbligatorio	obbligatorio
registro culturale	obbligatorio	obbligatorio	obbligatorio	obbligatorio
diserbanti	vietato	consentito	vietato	consentito
sementi	certificazione bio	libero	certificazione bio	obbligo uso sementi certificate
piano gestione agronomica	obbligatorio	facoltativo	obbligatorio	facoltativo
rapporto capi/superficie	-	-	-	-
per alimentazione	obbligatorio	facoltativo	obbligatorio	facoltativo
per spandimento deiezioni	obbligatorio	obbligatorio	obbligatorio	obbligatorio

**SRA19 ACA19 - Riduzione dell'impatto dell'uso di prodotti fitosanitari: Azione 1 - Riduzione del 50% della deriva dei prodotti fitosanitari; Azione 2 - Limitazione dell'impiego dei prodotti fitosanitari contenenti sostanze attive candidate alla sostituzione e altre eventualmente individuate a livello regionale; Azione 3 - Adozione di strategie avanzate di difesa delle colture basate sui metodi biotecnologici e biologici

*Ecoschema 1: riduzione del farmaco e benessere animale

	PAC 2014-2020		PAC 2023-2027	
Tecniche gestionali allevamento	Metodo biologico	Metodo convenzionale	Metodo biologico	Metodo convenzionale
riduzione farmaco	obbligatorio	senza limitazioni	obbligatorio	obbligatorio se adesione ecoschema 1*
benessere animale (no classyfarm)	obbligatorio	obbligatorio	obbligatorio con adesione a SRA 30 ACA 30 azione 1*	obbligatorio con adesione a SRA 30 ACA 30 azione 1**
benessere animale classyfarm***	-	-	facoltativo	facoltativo
pascolamento o alimentazione verde	obbligatorio	facoltativo	obbligatorio	facoltativo
tenuta armadietto veterinario	obbligatorio	obbligatorio	obbligatorio	obbligatorio
trattamenti farmacologici di massa	vietato	consentito	vietato	consentito
fecondazione artificiale	consentito	consentito	consentito	consentito
decornificazione	consentita su prescrizione veterinaria	consentito	consentita su prescrizione veterinaria	consentito
svezzamento vitelli	con latte di vacca	tecnica libera	obbligo uso latte di vacca per minimo 90 gg	tecnica libera
piano di gestione zootecnica	obbligatorio	facoltativo	obbligatorio	facoltativo

**SRA 30 ACA 30 - Pagamento per il miglioramento del benessere animale. Azione 1: Aree di intervento specifiche (non attivata da Regione Lombardia)

***ClassyFarm: sistema integrato finalizzato alla categorizzazione dell'allevamento in base al rischio

FOCUS SUGLI EFFLUENTI DI ALLEVAMENTO

L'attività zootecnica ricopre un ruolo importante in merito alla transizione climatica date le caratteristiche emissive, la consistenza e la densità territoriale del relativo comparto lombardo.

Nel presente capitolo si presenta un focus sugli effluenti di allevamento bovino e suino, rilevanti in particolare per le emissioni di metano (CH₄) e di protossido di azoto (N₂O) (per quanto riguarda i gas climalteranti, vd. Cap. Quadro emissivo). Il tema dei reflui zootecnici inoltre risulta interessante per il contributo al sequestro di carbonio grazie al relativo reinserimento nei suoli o alla mitigazione in generale se utilizzati ad esempio per la produzione di biogas.

EFFLUENTI DI ALLEVAMENTO: SCOPI DELL'USO AGRONOMICO E CARATTERISTICHE

Gli effluenti di allevamento sono i sottoprodotti derivanti dalle attività zootecniche (in relazione ai capi vivi). Essi sono costituiti perlopiù dalle deiezioni solide e liquide del bestiame, in miscela con residui di materiali vegetali (se usati per la lettiera), acque di abbeveramento e di lavaggio e da resti di alimenti non consumati.

Gli effluenti zootecnici, opportunamente trattati, rappresentano la principale matrice organica impiegata storicamente in agricoltura, utilizzati per migliorarne i risultati produttivi. Lo scopo dell'impiego agronomico degli effluenti trattati risiede nel relativo effetto fertilizzante in quanto in generale svolgono i seguenti ruoli (con accenti diversi a seconda delle caratteristiche specifiche):

- nutrizionale: apporto degli elementi nutritivi necessari per la crescita delle colture (in particolare azoto, fosforo e potassio);
- ammendante: azione strutturante rispetto al suolo.

I due ruoli sono correlati, in quanto una buona nutrizione delle piante richiede la disponibilità di elementi nutritivi nelle forme e condizioni assimilabili dalle colture, funzioni garantite da una buona struttura del suolo, dalla sostanza organica, dalla biodiversità del bioma microbico, dal pH, etc (v. Approfondimento sul Suolo).

Le caratteristiche degli effluenti zootecnici variano a seconda delle tecniche di gestione/trattamento, della specie allevata e della stabulazione. La prima

caratteristica si riferisce in particolare alla “palabilità” ossia la proprietà che li rende gestibili (raccolti, trasportati, etc) come solidi (palabili) o come liquidi (non palabili). Due sono quindi le principali macro-categorie (ERSAF, 2019):

- letami: effluenti di allevamento palabili e derivanti dal processo di maturazione (compostaggio che implica la digestione aerobica, ossia in presenza di ossigeno) di deiezioni animali mescolate a elementi vegetali (lettiera, riguardando quindi allevamenti che impiegano questo tipo di substrato nella stabulazione);
- liquami: effluenti di allevamento non palabili (liquidi o semi-liquidi); sono solitamente derivanti da allevamenti condotti senza lettiera, come nel caso della maggior parte dei suini.

Entrambi sono il risultato di specifici trattamenti: per la maggior parte infatti le deiezioni zootecniche non possono essere utilizzate “tal quali” in agricoltura in quanto contengono sostanza organica non stabilizzata. Le caratteristiche chimico-fisiche delle due tipologie di effluenti sono molto variabili sia nel corso del tempo sia da azienda ad azienda (CRPA, 2012). Il potere fertilizzante e ammendante inoltre dipende anche dal tipo di suolo recettore.

Il letame solitamente è di origine bovina in quanto la lettiera viene utilizzata in questo tipo di allevamenti (anche se attualmente solo in alcune parti della stalla e perlopiù in aziende con pochi capi). Gli effluenti subiscono un processo di pre-umificazione già in stalla e completano il compostaggio in letamaia (in cumuli sulla platea di raccolta). Dopo opportuna maturazione (dai 120 ai 300 giorni circa), il letame contiene una sostanza organica più stabile nel tempo che, quindi, si mineralizza più lentamente. Da un lato, quindi, quando oggetto di spandimento sui suoli agricoli, il letame contribuisce alla formazione di humus stabile nel terreno e di conseguenza al sequestro di carbonio. Dall'altro, è in grado di fornire la sostanza organica che rilascia l'azoto lentamente così da poter essere progressivamente assorbito da parte delle piante, evitandone la perdita per dilavamento e percolazione nelle acque sotterranee. Nel processo si accumulano in forma più stabile anche altri macroelementi nutritivi (fosforo e potassio). Il letame, essendo prodotto da un processo aerobico, libera inoltre meno gas volatili di origine anaerobica (ammoniacale e composti solforati come l'acido solfidrico), meno gas serra e meno composti odoriferi. Nel cumulo di letame inoltre si sviluppa un'elevata temperatura di 60-70 gradi circa (derivata dal processo di compostaggio) che permette di abbattere anche la carica patogena (maggiormente controversa è invece la capacità di abbattere la carica antibiotica, di farmaci in generale e di additivi). La sua funzione è perlopiù ammendante; l'effetto nutritivo ha importanza secondaria nel breve periodo (apporto del 25% dell'azoto presente nel primo anno), ma si protrae per più annate dopo quella di somministrazione (CBPA, 1999).

Per tutti i motivi sopra elencati, l'agricoltura biologica prevede l'uso del letame come fertilizzante (oltre al fatto che permette di evitare i fertilizzanti di sintesi). Altro aspetto positivo del letame è che presuppone l'uso della lettiera nella fase di stabulazione, elemento rilevante nella valutazione del benessere animale.

EFFLUENTI DI ALLEVAMENTO



LETAMI + LIQUAMI

RILEVANZA PER LA TRANSIZIONE CLIMATICA



EMISSIONI DI METANO
E PROTOSSIDO DI AZOTO

La gestione degli effluenti come letame necessita di adeguati spazi (platea di accumulo e permanenza), le cui dimensioni sono in funzione del numero di capi. Richiede inoltre manodopera, in particolare nella fase di raccolta e asportazione dalle stalle alla platea.

Il liquame può essere di origine bovina (ove ci sono linee separate di raccolta di deiezioni solide e liquide in stalla oppure nel caso non venga utilizzata la lettiera o ancora in presenza di colaticcio derivante dalle platee di raccolta del letame) o più frequentemente suina (per la maggior parte bestiame allevato su pavimento grigliato). Essendo liquido o semi-liquido, è pompabile e viene convogliato dalle zone di stabulazione e stoccato in vasche di accumulo dove è solitamente mescolato periodicamente. La sostanza organica contenuta nel liquame è instabile, con fermentescibilità ancora alta. I liquami quindi sia in fase di stoccaggio sia di spandimento sui suoli liberano una maggior quantità di gas climalteranti e maleodoranti (poiché questi si formano soprattutto in condizioni anaerobiche) rispetto ai letami (CBPA, 1999). Il liquame bovino presenta in generale un effetto ammendante ridotto (circa la metà) rispetto al letame (ha meno fibre organiche) mentre l'effetto nutritivo nel primo anno può arrivare ad un massimo al 60% dell'azoto presente. Il liquame suino può arrivare a fornire già nel primo anno efficienze dell'azoto pari all'80% mentre l'effetto residuo (ossia il rilascio di azoto sul lungo periodo) e ammendante è limitato (CBPA, 1999).

Relazione tra effluenti di allevamento e transizione climatica

Il settore agro-zootecnico (a tutte le scale, dalla globale a quella locale) contribuisce alla maggior parte delle emissioni di due gas serra, metano (CH_4) e protossido d'azoto (N_2O). Il relativo potenziale in termini di riscaldamento globale (Global Warming Potential - GWP), valutato su un orizzonte di 100 anni, è 27 volte per il CH_4 e 273 volte per il N_2O maggiore rispetto a quello della CO_2 (valori utilizzati come fattori di conversione di CH_4 e N_2O in CO_2eq , IPCC, 2022, p. 174) e pertanto questi gas risultano rilevanti in termini di transizione climatica (v. Cap. Quadro Emissivo).

Relativamente ai due gas serra sopra citati, inoltre, gli effluenti di allevamento rappresentano le fonti emissive più consistenti del settore zootecnico in Italia e in Lombardia (in funzione del trattamento prevalentemente sottoforma di liquami). Essi costituiscono sorgenti emissive localizzate nelle aree di stabulazione, di stoccaggio, di trattamento e di spandimento (sui suoli). Sono prevalentemente fonti a cielo aperto, che emettono gas in atmosfera con una portata variabile in funzione dei volumi, della composizione e trattamento degli effluenti ma anche delle condizioni meteorologiche, geografiche e della tipologia del terreno oggetto di spandimento. Occorre inoltre considerare che le emissioni di gas da parte degli effluenti dipendono anche dalle specie allevate e dalla nutrizione del bestiame.

Oltre alle emissioni in aria, l'impatto ambientale della gestione dei reflui zootecnici riguarda anche il suolo e le acque a causa del rilascio di azoto. Tale fenomeno è stato il primo a essere oggetto di attenzione a causa della

tossicità - per la salute di comunità umane e di ecosistemi - dei derivati dell'azoto (nitrati) nelle acque sotterranee e nelle acque superficiali (con contributo all'eutrofizzazione) in aree interessate da alto carico zootecnico, come nel caso della Pianura Padana.

Successivamente, considerazione è stata data alle emissioni di ammoniaca in atmosfera per la rilevanza in termini percentuali delle emissioni in particolare dei liquami rispetto ad altre fonti: l'ammoniaca, insieme agli ossidi di azoto, contribuisce in modo significativo alla formazione di $\text{PM}_{2,5}$ secondario e quindi all'inquinamento dell'aria. L'ammoniaca non è un gas serra in quanto tale ma è il composto che si libera più rapidamente e in maggiori quantità dai liquami ed è considerato precursore (e indicatore del rischio emissivo) di protossido di azoto (N_2O e di altri gas azotati). N_2O si forma anche a partire dall'ammoniaca in soluzione, a seguito di reazioni chimiche (nitrificazione e successiva parziale denitrificazione) a carico del bioma microbiologico in ambienti con poca aria e quindi basso contenuto di ossigeno, quali ad esempio le lettiere permanenti nelle stalle (MIPAF, 2016). Lo stesso processo con produzione di N_2O avviene nei suoli agricoli oggetto di spandimento (ove l'emissione è favorita dallo stesso letame) (JRC, 2017). Oltre alla mancanza di disponibilità di ossigeno, la denitrificazione è favorita anche dalla presenza di una fonte di carbonio disponibile e da alte temperature. A causa di questa dipendenza da tali fattori specifici del sito, le emissioni di N_2O presentano un grado piuttosto elevato di variabilità spaziale e temporale (JRC, 2017) e la relativa stima è perciò considerata molto incerta (IPCC, 2022).

Il metano (CH_4), emesso dagli allevamenti è oggetto di recente attenzione. Esso è prodotto dalla fermentazione enterica dei ruminanti e dagli effluenti zootecnici, dipendendo questi ultimi in primo luogo dalle specificità dei relativi sistemi di trattamento. Le emissioni di CH_4 infatti sono influenzate dall'entità delle condizioni anaerobiche presenti, dalla temperatura del sistema e dal tempo di ritenzione del materiale organico nel sistema. Quando gli effluenti di allevamento vengono stoccati e trattati in forma liquida (si tratta quindi di liquami raccolti, ad esempio, in vasche), le condizioni di anaerobiosi producono quantità significative di metano. Se gli effluenti zootecnici sono gestiti in forma solida (letame, stoccato in cumuli), tendono a decomporsi in condizioni più aerobiche e la produzione di CH_4 è minore (JRC, 2017).

Nonostante il profilo emissivo, gli effluenti di allevamento di qualità (soprattutto nel caso del letame) contengono una rilevante e preziosa quantità di sostanza organica che, come già sottolineato, una volta immessa nei suoli, permette di sequestrare il carbonio dall'atmosfera. Altro elemento da considerare nella valutazione del ruolo degli effluenti di allevamento rispetto alla transizione climatica è relativo alla capacità fertilizzante: applicando i prodotti del trattamento degli effluenti, se di qualità, sui suoli agricoli, è possibile ridurre o eliminare i fertilizzanti di sintesi che, oltre ad avere un alto impatto ambientale in senso generale, hanno anche un profilo emissivo rilevante (considerando in particolare l'input di combustibili fossili necessari per produrli e l'approvvigionamento perlopiù dall'estero nel caso italiano).

Un ultimo aspetto inerente la transizione climatica riguarda le potenzialità

della trasformazione degli effluenti di allevamento in biogas e biometano. Il contributo alla mitigazione in questo caso si sostanzia nella produzione di una risorsa dai reflui zootecnici in ottica di bioeconomia circolare, risorsa che può essere sostituita ai combustibili fossili per la produzione di energia (in determinate condizioni) e il cui residuo (detto digestato, ossia la frazione che non è biodegradata) può essere utilizzato come fertilizzante.

Tale trasformazione è resa possibile dalla tecnologia della digestione anaerobica (DA) che ha luogo in impianti detti digestori (o fermentatori) alimentati con matrici organiche diverse (oltre agli effluenti zootecnici, scarti di lavorazione delle aziende e dell'agro-industria, biomasse, fanghi e FORSU). La DA è un processo biologico che consiste nella degradazione e stabilizzazione del materiale organico in condizioni anaerobiche realizzata da microorganismi (batteri) e che porta alla produzione di biogas (miscela di metano e anidride carbonica) e digestato (CRPA, 2012). Il biogas prodotto può essere utilizzato per produrre elettricità (1) o essere raffinato (purificazione e upgrading per la rimozione della CO₂) per produrre biometano (2). Tra i due processi (1 e 2), cambia la "dieta" del fermentatore, ovvero le matrici di ingresso da fermentare, scelte in modo da ottimizzare il prodotto principale che si vuole ottenere (metano o biogas) con una ricaduta indiretta sul prodotto rimanente, ovvero il residuo della fermentazione (il digestato). Il digestato può essere ulteriormente trasformato con processi aerobici, come il compostaggio, così da migliorarne la qualità per il reimpiego in agricoltura (per la stabilizzazione della sostanza organica). I liquami derivanti da allevamenti vengono arricchiti con matrici vegetali (scarti di lavorazione o di campagna) per alimentare il digestore anaerobico per la produzione di biogas. Il digestato in generale prodotto ha performance migliori rispetto ai liquami di partenza per organizzazione della CO₂ (perché la sostanza organica è già in una forma più stabile rispetto ai liquami di ingresso). L'energia termica cogenerata negli impianti di digestione anaerobica può essere utilizzata per l'autoalimentazione dell'impianto o inviata a reti di teleriscaldamento, sostituendo così l'utilizzo di combustibili tradizionali e riducendo le emissioni di gas serra (PREAC, 2022).

L'allevamento bovino da latte si presta molto bene per l'introduzione di impianti di biogas grazie ad alcune caratteristiche peculiari che si trovano solo in questa tipologia di allevamento. La tecnica della digestione anaerobica, infatti, con la microbiologia presente nel digestore è molto simile a quella presente nel rumine di un bovino da latte e l'utilizzo degli effluenti zootecnici (equiparabili al "digestato" bovino) come matrici di ingresso permette di inoculare giornalmente l'impianto di biogas con tutta la flora batterica necessaria al corretto equilibrio di processo. La ripartizione della mandria è molto importante per valutare le potenzialità produttive in termini di biogas. I capi produttivi, in particolare le vacche in lattazione, infatti, sono quelle che ingeriscono la maggior parte degli alimenti somministrati e di conseguenza hanno la maggiore escrezione di feci. Allo stesso modo la quantità di paglia o altro lettame utilizzato nelle diverse fasi è importante per la definizione delle potenzialità produttive del biogas (CRPA, 2012).

Gli aspetti positivi della DA consistono inoltre nella concentrazione dei reflui (nel digestato), e quindi dei volumi, ottenuta attraverso il processo,

che riduce i costi di trasporto e di spandimento, e nella possibilità di utilizzare localmente o di vendere l'energia prodotta dagli impianti, attenuando l'impatto economico e finanziario degli investimenti necessari per l'acquisto e la gestione del digestore. Gli aspetti problematici di tale soluzione risiedono nel dimensionamento degli impianti, che rende necessario spesso realizzare strutture consortili sovra aziendali caratterizzate da potenziali problematiche gestionali. Occorre sottolineare inoltre che il processo di DA non contribuisce significativamente alla riduzione dell'azoto contenuto negli effluenti zootecnici (anche perché co-digestato con biomasse vegetali), mentre ne modifica sostanzialmente la forma chimica, rendendolo più facilmente assimilabile dalle colture e incrementandone l'efficienza di utilizzo.

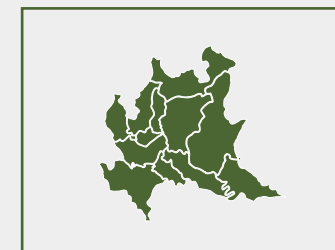
I NUMERI E LE CARATTERISTICHE DEGLI EFFLUENTI DI ALLEVAMENTO IN LOMBARDIA

L'agricoltura lombarda è caratterizzata da una significativa presenza del comparto zootecnico, in termini di valore della produzione, di consistenza di allevamenti e capi e di ore agricole lavorate. Le produzioni zootecniche lombarde pesano per il 27% del totale nazionale: il contributo lombardo è particolarmente significativo per il comparto delle carni suine (39,1% della produzione nazionale), di latte bovino (38,4%) e di carne bovina (23,2%). Nella regione si contano quasi 19.200 aziende che allevano capi di bestiame (40,9% delle aziende agricole lombarde) con UBA pari a 2,6 milioni (Regione Lombardia, 2022b). La Lombardia è la prima regione italiana per allevamenti di bovini e suini (circa 4,5 Mil di suini e 1,5 Mil di bovini di cui la maggioranza sono da latte). Tale produzione è inoltre concentrata nelle aree di pianura delle province di Brescia (che detiene tutti i record del comparto), Mantova, Cremona e Bergamo (Pretolani, 2022). La Lombardia è anche la regione con la dimensione media aziendale delle aziende bovine più alta d'Italia, quasi il triplo della media nazionale. Nelle aree di pianura dove si concentra l'impatto sono irrilevanti i pascoli ove il bestiame possa deambulare autonomamente in quanto la produttività attuale sarebbe compromessa (l'alimentazione non potrebbe essere controllata, costante nel tempo e orientata a una maggiore produzione di latte e di carne).

La maggior parte delle emissioni di gas serra del settore agricolo lombardo è riferito alla zootecnia, che copre l'83% delle emissioni, di cui il 47% derivante dalla gestione degli effluenti zootecnici e il rimanente 36% ascrivibile alla fermentazione enterica durante la stabulazione. Il rimanente 17% è associato alle coltivazioni, principalmente collegabile all'uso di fertilizzanti di sintesi. Da questa rendicontazione sono escluse altre attività accessorie del settore agricolo, quali la movimentazione di macchinari, il riscaldamento/raffrescamento degli ambienti e la lavorazione dei prodotti aziendali (Autorità Ambientale Regione Lombardia, 2021, p. 160).

ERSAF (2019) ha calcolato i volumi di effluenti prodotti annualmente nel complesso dalla zootecnia lombarda: circa 69 Mil di m³ di liquame e 15 Mil di m³ di letame (da sottolineare la differenza dei volumi in gioco). Bovini e suini sono responsabili di circa il 90% del carico di azoto degli effluenti lombardi (in totale 125.500 tonnellate di azoto, al netto delle perdite per

SCALA LOMBARDA



19.200
AZIENDE ZOOTECNICHE
(40,9% del totale delle aziende agricole)



2,6 MILIONI UBA
4,5 MIL DI SUINI
1,5 MIL DI BOVINI
(MAGGIORANZA DA LATTE)

Circa il triplo della dimensione media degli allevamenti italiani e UE-27

83% DELLE EMISSIONI
AGRICOLE DERIVA
DA ALLEVAMENTI



47% DALLA GESTIONE
DEGLI EFFLUENTI
36% DALLA
FERMENTAZIONE
ENTERICA



VOLUMI DI EFFLUENTI
PRODOTTI
ANNUALMENTE
DALLA ZOOTECNIA



69 MIL DI M³ DI LIQUAME
15 MIL DI M³ DI LETAME

POTENZIALE
CONTRIBUTO
DEGLI EFFLUENTI

1.129.500
TONNELLATE DI CARBONIO
ANNUE PER I SUOLI AGRICOLI

SOLO IL 33%
DELLE AZIENDE AGRICOLE
UTILIZZA IL LETAME
PER LO SPANDIMENTO
SUI SUOLI

PRODUZIONE DI BIOGAS
400 IMPIANTI

emissione di ammoniaca, che è circa il 28%) (ERSAF, 2019). A partire da questi dati, ERSAF ha stimato in 1.129.500 tonnellate di carbonio annue il potenziale contributo degli effluenti di allevamento sui suoli agricoli (ERSAF, 2019) nel caso fossero tutti utilizzati a tal fine. Nonostante non siano disponibili dati aggiornati (il 7° Censimento Agricoltura Istat 2021 non ha ancora completato le elaborazioni al proposito), i dati del 2010 possono essere utili per fornire un'indicazione generale sui vari destini degli effluenti zootecnici: in Lombardia solo il 33% (dato probabilmente sovrastimato) delle aziende agricole con superficie agricola utilizza spandimento di letame e solo il 5% lo utilizza con incorporazione immediata (elaborazioni EStà su dati Istat, 2010). Si segnala che una valutazione precisa di volumi di effluenti zootecnici, trattamenti e destinazione finale risulta molto complessa in quanto i dati delle singole aziende sono soggette a privacy e le relative banche dati non sono open access. I monitoraggi pubblici realizzati da ERSAF rilevano solo le non conformità (per il rispetto della Direttiva Nitrati).

Il paradosso che si rileva è che soprattutto nella Pianura Padana si riscontra un elevato uso di fertilizzanti minerali azotati in concomitanza ad un'elevata disponibilità di effluenti di allevamento (Provolo et al., 2020). I nutrienti derivanti dalla produzione di effluenti di allevamento, sommati agli apporti dei fertilizzanti minerali, dei fanghi di depurazione e delle altre matrici organiche destinate in agricoltura in Lombardia, superano i fabbisogni delle colture presenti sul territorio. Complessivamente si può stimare che l'agricoltura lombarda immetta nell'ambiente oltre 100.000 t/anno di azoto reattivo (nitrati, ammoniaca, protossido di azoto) e oltre 15.000 t/anno di fosforo in eccesso. Si palesa quindi la necessità di ridurre la pressione zootecnica in queste aree attraverso la delocalizzazione degli effluenti o l'applicazione di sistemi di trattamento degli effluenti che consentano l'estrazione/recupero dei nutrienti stessi (ERSAF, 2019).

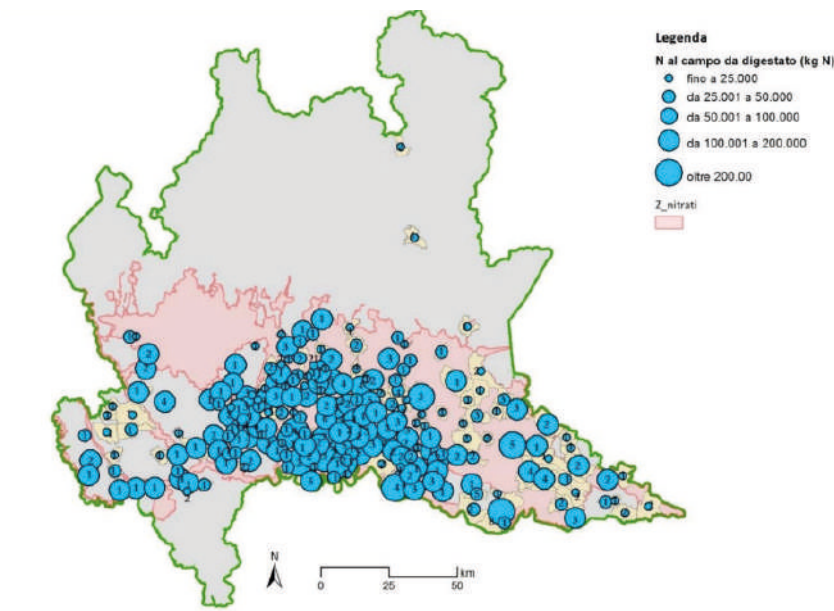
La valorizzazione del biogas in Lombardia

Per rispondere alle esigenze del mercato e alle politiche energetiche (che prevedevano incentivi per il biogas), a partire dal 2012 circa in Lombardia si sono diffusi impianti di trattamento (digestori anaerobici, DA) con il fine di accoppiare alla produzione agricola e degli effluenti di allevamento la produzione energetica: nel 2019 sono circa 400 sul territorio regionale. Di questi, 249 sono gli impianti che trattano effluenti zootecnici (4.229.504 tonnellate/anno di liquami, co-digestati con biomasse vegetali) e producono circa 290 MWe. A valle della DA possono essere presenti separatori delle frazioni solido/liquide o sistemi per abbattere o recuperare l'azoto (in pochi casi). I quantitativi di azoto al campo da digestato dei 249 impianti citati sopra risultano così ripartiti: azoto di origine zootecnica pari a 7.132.210 kg, azoto da biomasse vegetale 7.553.545 kg. In Tab. 1 vengono riportati suddivisi per provincia i dati relativi al numero di impianti, ai liquami utilizzati, alle specie zootecniche e alla potenza prodotta negli impianti lombardi. Nella figura seguente – Fig. 1 – si vede la mappa degli impianti di digestione anaerobica che utilizzano matrici agro-zootecniche e il relativo impatto in termini di azoto derivato dal digestato prodotto (ERSAF, 2019).

Tab. 1: Impianti di Digestione Anaerobica in Lombardia che utilizzano matrici agro-zootecniche, suddivisi per provincia, quantitativi di liquami utilizzati (tonn/anno), specie zootecniche e potenza prodotta (Mwe) (2019).
Fonte: ERSAF, 2019.

Pro- vincia	n. im- pianti	n. impianti che utilizzano reflui zootec- nici	t anno ⁻¹ liquami	n. BOVINI	n. BUFA- LINI	n. SUINI	n. EQUINI	n. OVI- CA- PRINI	n. AVI- COLI	n. CU- NI- COLI	Po- tenza pro- dotta Mwe
BG	20	8	366.552	10.177		50.528	45		5.000		9,4
BS	65	51	957.631	17.033	640	127.569	80	307	986.120		43,2
CR	143	113	1.769.257	46.325	310	256.556	27		144.040		103,9
LO	54	34	481.538	11.421		79.203	75	61	1	1	47,0
MN	53	6	72.611	4.707		21.800			97.000		42,8
MI	11	24	428.096	14.157		348.299		248.865			10,5
PV	38	13	153.818	3098		51.339	13	5	94		34,8
SO	3			969		31	5	49			1,8
TO- TALE	387	249	4.229.504	107.887	950	935.325	245	249.287	1.232.255	1	293,5

Fig. 1: Mappa degli impianti di digestione anaerobica che utilizzano matrici agro-zootecniche, il relativo impatto in termini di azoto derivato dal digestato prodotto e la localizzazione delle Zone Vulnerabili ai Nitrati (2015).
Fonte: ERSAF, 2019 (elaborazione da dati Regione Lombardia, 2015). NB: Il perimetro delle Zone Vulnerabili ai Nitrati in mappa non è aggiornato, in quanto le ZVN sono state ridefinite nel 2019, Regione Lombardia, 2020).



Secondo alcuni esperti, la proliferazione di impianti di biogas sopra sottolineata in Lombardia ha però generato un paradosso: ha spostato l'obiettivo principale (efficientare la gestione e l'utilizzo di effluenti di aziende zootecniche) alla sola produzione energetica (ai fini del percepimento degli incentivi). Si sono così specializzate aziende che producono mais solo per il biogas, consumando (per la produzione di mais) una quantità quasi pari di energia prodotta con il biogas, in termini di fattori di produzione, risultando quindi inefficiente. Lo stesso sta accadendo relativamente alla produzione di biometano. Il processo di recupero delle

deiezioni attraverso digestori sta giustificando addirittura la nascita di stabilimenti finalizzati più alla produzione di deiezioni che non di alimenti. Accade in particolare per gli allevamenti di polli e ovaiole in quanto la pollina ha buone caratteristiche per il recupero ai fini della produzione di metano. Il risultato economico però si basa sulla bolla attuale del prezzo del metano e sull'esternalità negativa del processo (disagi olfattivi, minore sostanza organica restituita al suolo, impatti sulle componenti ambientali, etc).

L'ORIGINE DELLA PROBLEMATICHE DEGLI EFFLUENTI DI ALLEVAMENTO: IL CAMBIAMENTO DEL MODELLO AGRO-ZOOTECNICO

Nell'agricoltura "tradizionale" il comparto zootecnico era intrinsecamente connesso alle attività di coltivazione e in generale dell'azienda agricola. Oltre a fornire un contributo in termini di proteine animali e alla sostenibilità economica, gli allevamenti producevano deiezioni che, insieme agli scarti della produzione, costituivano fertilizzanti naturali disponibili in loco (una volta trattati adeguatamente in cumuli oggetto di compostaggio e quindi trasformati in letame). Così facendo, si procedeva a "chiudere il ciclo", ottimizzando l'uso e il riciclo delle risorse. Si trattava di una forma ante-litteram di "economia circolare" focalizzata sull'azienda agricola. Nei sistemi agricoli circolari "tradizionali" il carbonio rientrava nel ciclo naturale tramite lo spandimento del letame: il risultato era un processo di arricchimento della sostanza organica dei suoli e di sequestro di carbonio (con minori emissioni di gas serra dell'intero sistema).

L'evoluzione della produzione agricola, spinta dalla necessità di aumentare le quantità prodotte per unità di superficie, ha portato l'agricoltura ad assumere modelli produttivi sempre più specializzati e produttivi ma sempre meno circolari. Dalla seconda metà del XX secolo quindi l'agricoltura ha assunto modelli lineari che impiegano molti più input o fattori di produzione (fertilizzanti di sintesi, fitofarmaci e apporti energetici per le macchine agricole utilizzate nelle lavorazioni) e reimpiegano sempre meno scarti o sottoprodotti, generando un incremento della produzione unitaria notevole, ma anche un incremento del consumo e spreco di risorse (sostanza organica, nutrienti, biodiversità, etc). L'aumento del numero di capi e quindi degli effluenti, l'introduzione di input di sintesi e l'aumento della popolazione (con aumento quindi di apporti nelle acque reflue) hanno comportato un carico inquinante di azoto e di fosforo nelle acque e l'aumento contestuale delle emissioni di ammoniaca e di gas climalteranti. In Pianura Padana tale dinamica è risultata evidente a partire dal secondo dopoguerra e più marcatamente a partire dagli anni '80. Il modello imprenditoriale esistente fino ad allora era basato sull'integrazione produttiva tra cereali e zootecnia, soprattutto da latte, con sistemi di foraggiamento incentrati fondamentalmente su foraggi cellulosici, ove la razione proteica era derivata principalmente dalla quota d'uso di erba da prato, mentre gli altri cereali erano destinati perlopiù al consumo umano (riso, cereali vernini, etc). Tale modello si è trasformato in un sistema

intensivo, reso possibile grazie alla meccanizzazione e all'individuazione di modalità per aumentare la produttività. Il fenomeno era dovuto alla possibilità di utilizzare quantitativi più elevati di insilati grazie all'uso del carro miscelatore (macchina agricola usata per pesare con precisione, miscelare e distribuire cibo). Le aziende, utilizzando come foraggio di base l'insilato di mais (la cui produttività in termini di sostanza secca è sicuramente la più elevata) potevano allevare più animali per unità di superficie. La produzione di latte, ad esempio, ha così potuto adottare un'alimentazione spinta con il trinciato di mais fermentato (silomais), spesso non più prodotto dalla stessa azienda zootecnica ma da aziende iperspecializzate in cerealicoltura dove sempre più spesso sono impiegati fertilizzanti di sintesi per soddisfare le richieste delle colture praticate. Progressivamente quindi la maggior parte degli allevatori della Pianura Padana si sono trasformati in "monocolturalisti" con forte diminuzione di prati stabili e di medicaie, approvvigionandosi di questi prodotti dal mercato. Questa evoluzione non riguarda i produttori aderenti al Regolamento del Parmigiano Reggiano (per il divieto di uso di insilati) (Dubini, 2022). Il percorso delineato ha portato anche a una progressiva riduzione della SAU per UBA (unità bovino adulto), determinando la concentrazione territoriale dei capi allevati e quindi anche dell'impatto ambientale e climatico. Uno degli effetti di questa trasformazione è significato dall'abbandono progressivo della pratica tradizionale di utilizzo del concime organico (letami e liquami) come fertilizzante a favore di concimi chimici più semplici nella manipolazione e applicazione (ARIMEDA, 2022).

STRUMENTI E RISORSE PER LA MITIGAZIONE DELLE EMISSIONI DEGLI EFFLUENTI DI ALLEVAMENTO

Sono stati sviluppati alcuni studi e progetti incentrati sulla riduzione delle emissioni a carico degli effluenti di allevamento, soprattutto incentrati sul rilascio di azoto nelle acque e di ammoniaca in aria (es. Arimeda, 2022; Agrimonia, 2021-2023, etc); altre ricerche riguardano la riduzione delle emissioni di gas serra e la mitigazione (es. Beef Carbon, con Linee Guida ad hoc per i bovini da carne, CREA, 2021) oppure sia le emissioni di ammoniaca sia di gas serra (es. GeSEFFE, 2020; N-Control, 2021; CleverMilk, 2020-2022, focalizzato sugli allevamenti da latte; PREPAIR con lo strumento BAT-Tool Plus, 2021). Il tema risulta di grande attualità (soprattutto per quanto riguarda la valorizzazione degli effluenti tramite biogas, es. CRPA, 2018). Per la consultazione delle ricerche analizzate relative agli allevamenti in generale, si rimanda alla mappatura specifica.

Dall'analisi degli studi individuati sugli effluenti di allevamento sono emerse una serie di variabili che influenzano le emissioni di ammoniaca e in modo perlopiù sinergico anche di gas serra, elementi che sono stati mappati nell'infografica seguente.

Per agire sulle variabili individuate, possono essere realizzati interventi "a monte" (che interessano la riduzione del numero dei capi, la razione alimentare e la selezione genealogica del bestiame per l'efficientamento

LE PRINCIPALI VARIABILI CHE INFLUISCONO SULLE EMISSIONI
DEGLI EFFLUENTI DI ALLEVAMENTO



biologico dell'uso dell'azoto) o interventi "a valle" nelle varie fasi di gestione degli effluenti, dal ricovero, ai trattamenti, allo stoccaggio, alla distribuzione in campo. Agire sul contenimento delle sole emissioni dall'escreto (interventi a valle) tuttavia non influisce sulla quantità di azoto del refluo al campo, aggravando quelle situazioni territoriali nelle quali ad una elevata densità zootecnica si somma la qualifica di Vulnerabilità ai Nitrati dei terreni (MIPAF, 2016).

Di seguito sono descritte alcune delle azioni principali promosse e adottate per intervenire sulla riduzione delle emissioni a carico degli effluenti di allevamento.

Azioni sull'alimentazione:

La nutrizione animale gioca un ruolo chiave nel controllo del flusso dei nutrienti nelle aziende zootecniche e quindi delle emissioni. Mediamente oltre il 70% dell'azoto e del fosforo assunti dagli animali vengono escreti e sono contenuti negli effluenti (percentuale che varia per specie e categoria allevata). In molti allevamenti intensivi si riscontra un elevato utilizzo di alimenti acquistati all'esterno dell'azienda (che si ritrovano poi negli effluenti), portando ad un eccesso di nutrienti rispetto alla recettività dei terreni aziendali, aumentando, di conseguenza, il rischio di rilascio in ambiente (Provolo et al., 2020). L'impatto di mangimi dipende anche dalle modalità di produzione agricola (spesso con prodotti di sintesi, anch'essi responsabili di emissioni). Oltre a utilizzare mangimi prodotti localmente tramite agricoltura sostenibile, è possibile ridurre le emissioni agendo sulla razione alimentare (intervendendo ad esempio sulla percentuale di proteine nella razione) oppure tramite additivi. Sono in corso sperimentazioni di vari additivi, anche naturali (come ad esempio le alghe rosse). Vi sono però elementi di attenzione sulla valutazione sistemica degli additivi per mangimi in quanto possono ridurre ad esempio le emissioni di metano, ma possono anche generare una diminuzione della qualità delle acque (Commissione Europea, 2021, p. 245).

Azioni sulla stabulazione:

Tra queste, l'azione a livello strutturale e organizzativo per mantenere separate fin dalla loro escrezione gli effluenti liquidi da quelli solidi permette significativi miglioramenti sotto il profilo ambientale e gestionale, limitando le emissioni di gas. L'urea delle urine non volatilizza facilmente, ma quando viene in contatto con le feci, in cui è abbondante l'enzima ureasi, si idrolizza rapidamente dando origine a CO₂ e NH₃ da cui si forma poi N₂O (CREA, 2021). Altra tecnica ritenuta di efficacia elevata, consiste nella rimozione frequente delle deiezioni e rinnovo delle lettiere (laddove utilizzate). Le varie tecniche di raccolta e rimozione degli effluenti in stalla sono: manuale, nastri trasportatori, raschiatori meccanici, canalette di scolo, vasca di stoccaggio sotto pavimento fessurato, separatore solido/liquido, etc. In riferimento al rinnovo delle lettiere, va evidenziato che un adeguato utilizzo di paglia consente di assorbire l'umidità delle deiezioni riducendo la volatilizzazione dei gas e preservando la pulizia degli animali con minor rischio di infezioni ma, se la quantità di paglia eccede il reale fabbisogno, le emissioni di N₂O e CH₄, potrebbero subire un aumento

(Provolo et al., 2020). Utilizzando sistemi di climatizzazione dei ricoveri, inoltre, che prevedono la coibentazione del tetto e/o una ventilazione naturale controllata automaticamente, è possibile ottenere una riduzione delle emissioni (20% circa) dovuta alla diminuzione della temperatura e alla ridotta velocità dell'aria (MIPAF, 2016). Il mantenimento di temperature moderate (per evitare stress termici sempre più ricorrenti con l'aumento delle temperature) e l'uso delle lettiere sono utili anche per raggiungere gli obiettivi di benessere animale.

Azioni sui volumi di acqua e sullo stoccaggio:

La riduzione delle acque negli allevamenti permette di ridurre i volumi degli effluenti da gestire (minori costi) e di diminuire le emissioni. La forte variabilità della produzione di effluenti da parte del bestiame dipende principalmente dall'assunzione di acqua (volontaria o con la razione alimentare, variabile anche da capo a capo della stessa specie) e dalle acque di lavaggio (spesso molto rilevanti ad esempio nelle sale mungitura). L'analisi dei consumi idrici dell'azienda è la prima operazione da intraprendere per valutare i possibili interventi da attuare (con co-benefici anche per il risparmio della risorsa idrica). Per ridurre i volumi di acqua, le emissioni e i rilasci nel suolo è importante intervenire in stalla (ad esempio con sistemi di collettamento separati per zona di stabulazione, vd. sopra) e in fase di stoccaggio (con coperture di cumuli di letame o delle vasche dei liquami, oltre all'impermeabilizzazione sul fondo). Le tecnologie di trattamento, una volta stoccati gli effluenti, possono influenzare le emissioni. Nel caso delle vasche dei liquami, ad esempio, la miscelazione ne crea l'aumento, quindi è importante procedere alla miscelazione a ridosso del momento dello spandimento. La durata della miscelazione necessaria può essere notevolmente ridotta da un preventivo trattamento di separazione dei solidi dai liquami.

Azioni sulla distribuzione sui suoli:

Le azioni sono mirate in questo caso a individuare modalità di distribuzione che migliorino l'efficienza di utilizzo dei nutrienti da parte delle colture e minimizzino le emissioni in atmosfera. Il primo passo consiste nel conoscere in modo preciso le quantità e le caratteristiche degli effluenti. Al momento della distribuzione, infatti, le informazioni richieste dalla normativa sono puntuali e riguardano l'effettiva concentrazione di nutrienti nel liquame presente in vasca. Uno dei metodi frequentemente utilizzato a tal fine è quello di utilizzare dei dati medi tabellari. In genere, questi dati sono riferiti al capo o all'unità di peso vivo e riportano valori per le diverse categorie di animali. Questo approccio è quello generalmente utilizzato ai fini normativi in quanto è semplice da utilizzare. Tale modalità di calcolo però non risulta sufficiente e va integrata con analisi specifiche se si vogliono adottare tecniche per la riduzione delle quantità di nutrienti prodotte, di mitigazione delle emissioni, di riduzione delle acque di lavaggio. A supporto vi sono anche modelli di calcolo del bilancio dei nutrienti (per il calcolo del bilancio dell'azoto si rimanda a Provolo et al., 2020) e delle emissioni (anche di gas serra) a livello aziendale (software BAT-Tool Plus, progetto LIFE-PREPAIR). Per quanto riguarda le modalità di spandimento, durante l'operazione

di distribuzione l'effluente è movimentato e viene a contatto con l'aria, aumentando la possibilità di volatilizzare alcune componenti. Anche le problematiche legate agli odori sono spesso connesse a questa fase della gestione degli effluenti. In generale l'uso di macchinari specializzati in una distribuzione omogenea e con tecniche di rapido interrimento (agricoltura di precisione) ha dimostrato di ridurre le emissioni¹, sebbene gli alti costi di tali macchinari ne riducano l'accessibilità alla singola azienda che spesso si rivolge a contoterzisti.

Una tecnica che sta rivestendo interesse per migliorare l'efficienza dei nutrienti e ridurre le emissioni consiste nella miscelazione del liquame con l'acqua di irrigazione, detta fertirrigazione. Il risultato che si ottiene è di poter frazionare la distribuzione del liquame nel corso della stagione irrigua. In questo modo le dosi sono limitate, l'infiltrazione nel terreno assicurata dal trasporto con l'acqua e di conseguenza le emissioni risultano contenute. Questa tecnica è stata positivamente sperimentata su mais con sistemi di irrigazione ad ala gocciolante e con pivot nell'ambito del progetto ARIMEDA (2018).

Tutte le azioni volte alla riduzione delle emissioni infine contribuiscono, oltre alla salute di comunità umane ed ecosistemi, anche all'ottimizzazione dell'efficienza, riducendo i costi dell'azienda zootecnica in generale (Commissione Europea, 2021). La questione riguarda l'opportunità di valorizzare un prodotto che ha un elevato valore fertilizzante ma anche un consistente costo delle operazioni di utilizzazione agronomica. Il costo per la sola distribuzione dei liquami, infatti, è mediamente di 3 €/m³ e può raggiungere valori più elevati se si deve trasportare a distanze superiori ai 3 km. Le operazioni di distribuzione quindi devono essere svolte in modo da valorizzare al meglio il contenuto fertilizzante di questo prodotto. Se si considerano invece i contenuti di azoto, fosforo e potassio nei liquami, il corrispondente valore, basato sull'acquisto di fertilizzanti minerali, risulta, per un liquame con caratteristiche medie per le aziende lombarde, pari a 4 €/m³ (valori che possono variare notevolmente in relazione alla diluizione del liquame e alle caratteristiche dell'allevamento) (Provolo et al, 2020).

.....

1 La distribuzione con i criteri convenzionali comporta oltre a una scarsa omogeneità dello spandimento e quindi riduzione dell'efficienza dei nutrienti, emissioni di gas, sia a causa della polverizzazione del getto che si verifica con i comuni dispositivi di distribuzione, sia soprattutto a causa della permanenza dei liquami sul terreno. Infatti le emissioni si verificano in prevalenza nel periodo immediatamente successivo alla distribuzione e le emissioni di ammoniaca nelle ore successive allo spandimento possono raggiungere anche l'80% degli apporti (CBPA, 1999).

REMUNERAZIONE DEI SERVIZI ECOSISTEMICI FORNITI DALLE FORESTE

Poiché la filiera del legno non è particolarmente sviluppata in Regione Lombardia, per affrontare l'impatto economico-sociale associato al contributo che le foreste danno alla decarbonizzazione si è scelto di utilizzare l'approccio dei servizi ecosistemici (beni e servizi generati dagli ecosistemi per il benessere delle persone). Viene quindi fornito, a livello regionale e di Città Metropolitana, un quadro descrittivo dell'offerta dei principali servizi ecosistemici associati alle foreste (non solo in relazione al tema della decarbonizzazione): questi sono stati mappati, quantificati dal punto di vista biofisico ed economico (in entrambi i casi si tratta di stime) e, dove possibile, associati ad uno schema di PES (Pagamenti per i Servizi Ecosistemici) al fine di avanzare alcune proposte di policy.

L'APPROCCIO DEI SERVIZI ECOSISTEMICI

Il tema dei servizi ecosistemici è strettamente legato al concetto di capitale naturale, definito dallo UK Natural Capital Committee nel 2013 come "il capitale che include l'intero stock di beni naturali - organismi viventi, aria, acqua, suolo e risorse geologiche - che contribuiscono a fornire beni e servizi di valore, diretto o indiretto, per l'uomo e che sono necessari per la sopravvivenza dell'ambiente stesso da cui sono generati". In una data area geografica, o in un determinato ecosistema, il capitale naturale rappresenta dunque ogni componente dell'ecosistema stesso, sia essa biotica che abiotica. Lo studio e la stima dei servizi ecosistemici sono ormai una questione rilevante e centrale delle politiche comunitarie di conservazione del capitale naturale: conoscere il territorio, anche sotto il profilo della tutela e conservazione del capitale naturale, è una condizione imprescindibile per consentirne una corretta pianificazione e programmazione degli strumenti di gestione. La scelta di includere i servizi ecosistemici negli strumenti di gestione del territorio è divenuta una prassi in molti Paesi che hanno sperimentato modelli di contabilità ambientale e dei servizi ecosistemici coerentemente con le metodologie presentate a livello internazionale tra cui il System of Environmental-Economic Accounting-Ecosystem Accounting, (SEEA-EA).

Lo studio e la stima dei servizi ecosistemici (SE) è funzionale inoltre ad implementare strumenti innovativi di gestione del territorio tra cui i

Pagamenti per i Servizi Ecosistemici introdotti in Italia dalla legge 221/2015 (Disposizioni in materia ambientale per promuovere misure di green economy e per il contenimento dell'uso eccessivo di risorse naturali). Tali strumenti possono trovare applicazione a diversi livelli (nazionale, regionale, comunale, aree protette ecc), e, come dimostrato dalla loro implementazione in Italia ed in Regione Lombardia (Palmieri et al 2016, Gaglioppa et al 2016), contribuiscono a migliorare il raggiungimento degli obiettivi di sostenibilità ambientale economica e sociale del territorio.

Purtroppo i SE sono spesso sconosciuti o sottovalutati sia dalla collettività sia dai decisori pubblici, in quanto presenti in natura anche in forma gratuita; inoltre la capacità degli ecosistemi di fornire SE è stata depotenziata negli anni a causa dell'utilizzo indiscriminato delle risorse naturali.

La mappatura, la quantificazione biofisica e la valutazione economica dei servizi ecosistemici (anche di quelli che non hanno un mercato di riferimento, per esempio protezione dal dissesto idrogeologico, fornitura di acqua, servizi culturali ecc.) sono considerati elementi fondamentali che, associati agli attuali strumenti di monitoraggio ambientale, consentono di fornire un supporto all'implementazione delle politiche ambientali e settoriali.

Cosa sono i servizi ecosistemici

Nella letteratura scientifica sono presenti diverse definizioni di SE, quella del MEA (Millennium Ecosystem Assessment, il primo grande progetto di ricerca internazionale sui SE) definisce i SE come "i benefici multipli forniti dagli ecosistemi per il genere umano" (MEA, 2005), dividendoli in quattro categorie:

- servizi di supporto alla vita: comprendono la creazione di habitat e la conservazione della biodiversità genetica;
- servizi di approvvigionamento: forniscono i beni veri e propri, quali cibo, acqua, legname, fibre, combustibile e altre materie prime, ma anche materiali genetici e specie ornamentali;
- servizi di regolazione: regolano il clima, la qualità dell'aria e delle acque, la formazione del suolo, l'impollinazione, l'assimilazione dei rifiuti, e mitigano i rischi naturali quali erosione, infestanti, ecc.;
- servizi culturali: includono benefici non materiali quali l'eredità e l'identità culturale, l'arricchimento spirituale e intellettuale e i valori estetici e ricreativi.

A partire dalle quattro macro-categorie introdotte dal MEA, Haines-Young e Potschin (2010) hanno definito un sistema di classificazione internazionale dei servizi ecosistemici denominato CICES¹ (Common International Classification of Ecosystem Services) utilizzato anche dal gruppo di lavoro MAES (Mapping and Assessment of Ecosystems and their Services) riportato in figura 1. Questa classificazione considera i servizi di supporto come parte dei servizi regolativi, riducendo quindi a tre le principali categorie ed ha una struttura gerarchica in cui ogni livello fornisce una descrizione sempre

.....
1 www.cices.eu

più dettagliata del servizio ecosistemico considerato. L'iter metodologico seguito in questo report segue le indicazioni del MAES.

I servizi ecosistemici forniti dalla vegetazione forestale

Gli ecosistemi forestali sono riconosciuti come i principali fornitori di servizi ecosistemici (Pohjanmies, T, 2017). Secondo il MEA (2005) e Martín-López, B. (2016) gli ecosistemi forestali possono fornire fino a 100 diversi servizi. I principali riguardano la fornitura di materie prime, cibo, acqua potabile, servizi di regolazione del clima, sequestro di carbonio, protezione dal dissesto idrogeologico, servizi ricreativi ecc. (fig. 2).

A livello globale le principali minacce agli ecosistemi forestali sono costituite dai cambiamenti climatici, dalla deforestazione, dagli incendi boschivi e dai cambiamenti associati all'uso e copertura del suolo tra cui il consumo di suolo ed il processo di intensificazione agricola. Dall'altra parte anche l'espansione delle aree forestali a discapito delle aree agricole e delle praterie e pascoli può determinare la frammentazione degli habitat con conseguente perdita di biodiversità (Geri et al., 2008, Metzger et al., 2006).

Fig. 2: Servizi ecosistemici forniti dalle foreste.
Fonte: Holzwarth S. et al 2020.

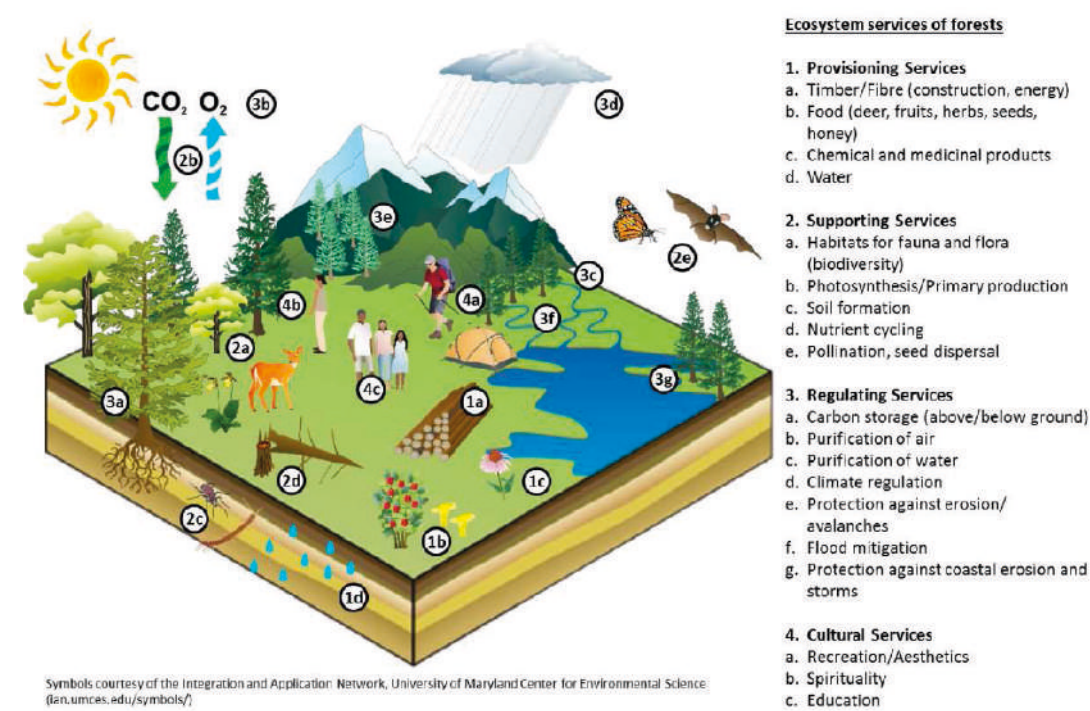


Fig. 1: Sistema gerarchico CICES
Fonte: Haines-Young e Potschin, 2010

Theme	Class	Group
Provisioning	Nutrition	Terrestrial plant and animal foodstuffs
		Freshwater plant and animal foodstuffs
		Marine plant and animal foodstuffs
		Potable water
	Materials	Biotic materials
		Abiotic materials
	Energy	Renewable biofuels
Renewable abiotic energy sources		
Regulation and Maintenance	Regulation of wastes	Bioremediation
		Dilution and sequestration
	Flow regulation	Air flow regulation
		Water flow regulation
		Mass flow regulation
	Regulation of physical environment	Atmospheric regulation
		Water quality regulation
		Pedogenesis and soil quality regulation
	Regulation of biotic environment	Lifecycle maintenance & habitat protection
		Pest and disease control
Gene pool protection		
Cultural	Symbolic	Aesthetic, Heritage
		Religious and spiritual
	Intellectual and Experiential	Recreation and community activities
		Information & knowledge

Pagamenti per i servizi ecosistemici (PES): cosa sono e come funzionano

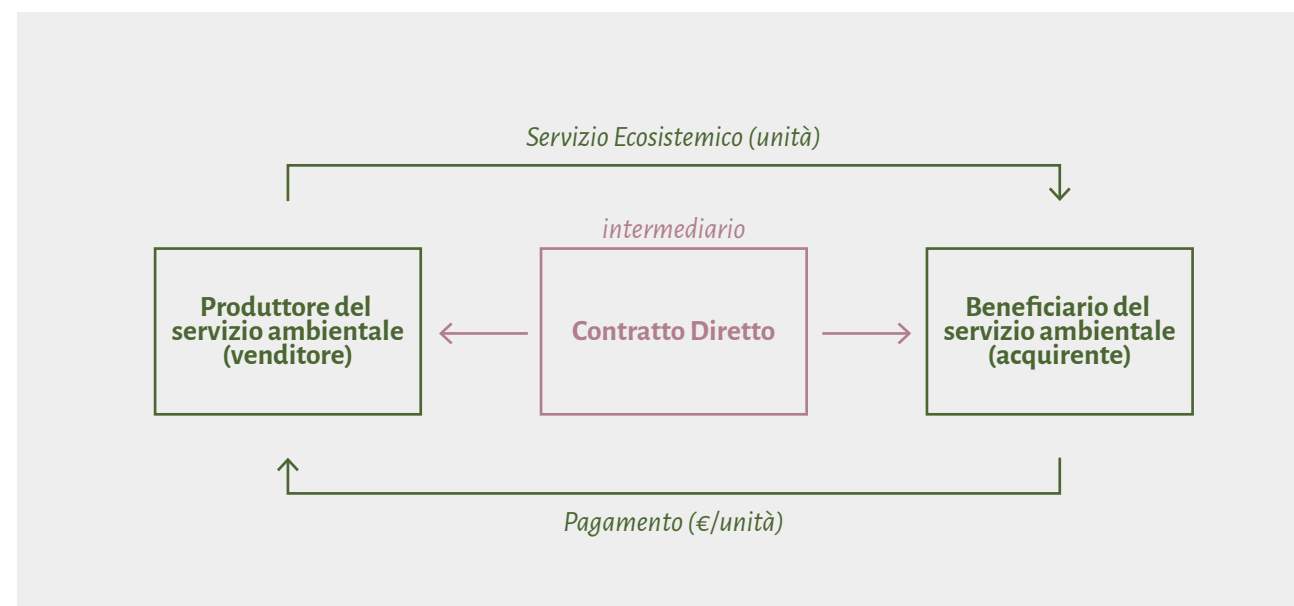
Ci sono diversi strumenti di mercato per la remunerazione dei servizi ecosistemici: i Pagamenti Agro Climatici Ambientali, il Carbon farming, la Piattaforma di compravendita dei Crediti di Sostenibilità e i Pagamenti per i Servizi Ecosistemici.

I Pagamenti per i Servizi Ecosistemici (PES) sono stati riconosciuti nell'ultimo decennio come importanti per coordinare la protezione dell'ambiente e lo sviluppo socioeconomico regionale (Guo Y et al 2020). I PES sono definiti da Wunder (2005) come "Una transazione volontaria (1) in cui un servizio ambientale ben definito (2), o una forma di uso del terreno che possa garantire tale servizio è acquistato da almeno un fruitore (3) (beneficiario del servizio) e venduto da almeno un fornitore (4) (venditore del servizio), se e solo se il fornitore garantisce la continuità del servizio (5) stesso (condizionalità)". Qualora tutti e cinque i criteri inclusi nella definizione siano soddisfatti si parla di PES-Core, se invece manca il requisito della volontarietà si utilizza il termine PES-Like.

I PES sono stati introdotti nella legislazione nazionale dal comma 1, articolo 70 della legge 221/2015: "Il Governo è delegato ad adottare, entro sei mesi dalla data di entrata in vigore della presente legge, senza nuovi o maggiori oneri per la finanza pubblica, uno o più decreti legislativi per l'introduzione di un sistema di pagamento dei servizi ecosistemici e ambientali (PSEA)". I decreti legislativi al momento non sono stati adottati, ma poiché i PES sono

Fig. 3: Schema di PES.

Fonte: www.lifemgn-serviziosistemici.eu



accordi volontari, questo non ne pregiudica l'attuazione.

L'implementazione dei PES prevede il coinvolgimento dei seguenti attori (Fig. 3):

- Buyer (acquirente): i beneficiari dei servizi ecosistemici che sono disposti a pagare per salvaguardare gli ecosistemi ed i beni e servizi che da essi si originano;
- Supplier (venditore): proprietari e/o gestori di terreni o risorse le cui azioni possono potenzialmente garantire la fornitura di benefici;
- Intermediario: soggetti terzi che hanno la funzione di facilitare l'implementazione del PES (la presenza dell'intermediario non è obbligatoria).

Nell'ambito del Progetto [LIFE MGN](#) (LIFE+ Making Good Natura - Making public Good provision the core business of Natura 2000) è stato prodotto un [Manuale per la valutazione dei servizi ecosistemici e l'implementazione dei PES nelle aree agroforestali](#) (Gaglioppa P. e D. Marino, 2016).

STRATEGIE E POLITICHE RELATIVE AI SERVIZI ECOSISTEMICI E AI PES

Uno dei primi segnali di un eccessivo sfruttamento delle risorse naturali del pianeta è giunto da uno studio realizzato nel 1997 da Costanza, ed aggiornato nel 2014 (Costanza et al, 2014) in cui è emerso a livello internazionale un aumento della pressione antropica che ha inciso sulla capacità dei biomi di fornire servizi ecosistemici. Secondo Costanza (2014) nel periodo (1997-2011) la perdita economica di servizi ecosistemici è compresa tra 4.300 e 20.200 miliardi di dollari all'anno. Il primo grande progetto di ricerca internazionale sui servizi ecosistemici denominato Millennium Ecosystem Assessment (MEA, 2005) è stato avviato dal Segretario Generale delle Nazioni Unite Kofi Annan nel 2000, in una relazione all'Assemblea

generale dal titolo "We the Peoples: The Role of the United Nations in the 21st Century". L'obiettivo è stato di valutare i cambiamenti dello stato degli ecosistemi in termini di fornitura di beni e servizi.

Il tema dei servizi ecosistemici (e della biodiversità) è contemplato anche nell'Agenda 2030 per lo Sviluppo Sostenibile. L'Agenda è costituita da 17 Obiettivi per lo Sviluppo Sostenibile – [Sustainable Development Goals, SDGs](#) – integrati all'interno di un programma d'azione che comprende 169 target (da raggiungere entro il 2030) riconducibili alla sfera ambientale, economico, sociale e istituzionale. In particolare il tema dei servizi ecosistemici è contemplato nel Goal 15 Vita sulla terra "Proteggere, ripristinare e favorire un uso sostenibile dell'ecosistema terrestre, contrastare la desertificazione, arrestare il degrado del terreno, fermare la perdita della diversità biologica".

A livello comunitario un primo tentativo di includere il tema dei servizi ecosistemici nei processi decisionali proviene dalla [European Union Biodiversity Strategy 2020-EU BS\(COM \(2011\) 244 final\)](#). In questo documento, ed in particolare all'Obiettivo 2 dell'Azione 5, la Commissione Europea evidenzia l'importanza che ricoprono i servizi ecosistemici per il benessere umano e indica ai Paesi membri di prevedere che i risultati della quantificazione e della mappatura dei servizi ecosistemici siano integrati in sistemi di contabilità e di rendicontazione economica e finanziaria. Per favorire a scala comunitaria l'integrazione degli ecosistemi e dei loro servizi nel processo decisionale la Commissione europea ha divulgato agli Stati Membri il documento di orientamento "[EU guidance on integrating ecosystems and their services into decision-making](#)" (SWD (2019) 305 final).

La nuova Strategia Comunitaria per la Biodiversità ([Biodiversity strategy for 2030](#)), uno dei pilastri del [Green Deal europeo](#), sottolinea la necessità di potenziare gli interventi a tutela del capitale naturale e di invertire il degrado degli ecosistemi entro il 2030.

A livello nazionale il tema del capitale naturale e dei servizi ecosistemici è divenuto parte integrante della legge 221/2015, in particolare con l'art. 67 che ha istituito il Comitato per il Capitale naturale; tale Comitato ha tra i suoi obiettivi produrre annualmente un Rapporto sullo Stato di conservazione del Capitale Naturale. A oggi il Comitato ha prodotto quattro edizioni del rapporto ([Primo Rapporto 2017](#), [Secondo Rapporto 2018](#), [Terzo Rapporto 2019](#), [Quarto Rapporto 2021](#)).

Servizi ecosistemici e foreste

A livello comunitario la [Strategia forestale dell'Unione europea COM \(2013\) n. 659 final](#) del 20 settembre 2013 pone l'attenzione sulla necessità di una gestione sostenibile delle aree forestali in modo da migliorare la fornitura dei servizi ecosistemici. Gli ecosistemi forestali infatti risultano essere molto produttivi, forniscono una vasta gamma di beni e servizi e richiedono, per una corretta gestione, una stima qualitativa e quantitativa dei servizi ecosistemici finalizzata ad orientare la pianificazione e la gestione forestale verso obiettivi di sostenibilità ambientale ed economica (Marucci et al 2022, Marino et al 2014).

Per garantire la fornitura dei servizi ecosistemici il Decreto legislativo n. 34 del 03/04/2018 (Testo Unico in materia di foreste e filiere forestali) richiama al comma 8 dell'art. 7 i Pagamenti per i Servizi Ecosistemici quale strumento di gestione forestale sostenibile coerentemente con quanto stabilito dalla Strategia forestale dell'Unione europea. Il tema dei PES applicato alle aree forestali è richiamato anche dall'articolo 70 della legge 221/2015 dove il comma d recita “prevedere che siano in ogni caso remunerati i seguenti servizi: fissazione del carbonio delle foreste e dell'arboricoltura da legno di proprietà demaniale, collettiva e privata; regimazione delle acque nei bacini montani; salvaguardia della biodiversità delle prestazioni ecosistemiche e delle qualità paesaggistiche.

MAPPATURA, QUANTIFICAZIONE E VALUTAZIONE ECONOMICA DI ALCUNI SERVIZI ECOSISTEMICI A LIVELLO DI REGIONE LOMBARDIA E DI CITTÀ METROPOLITANA DI MILANO

Iter metodologico

Sono stati presi in considerazione otto SE associati alle foreste, in particolare:

- un servizio di fornitura (Acqua potabile)
- sette servizi di regolazione (Purificazione dell'aria PM10, Purificazione dell'acqua, Sequestro di carbonio, Impollinazione, Protezione dall'erosione, Isole di calore, Ricarica della falda).

L'iter metodologico impiegato in questo studio, ed illustrato in figura 4, segue le indicazioni condivise a livello comunitario (MAES), mentre le procedure di cui si compongono le varie fasi tengono conto di diverse

metodologie riconosciute dalla letteratura scientifica. L'iter metodologico si articola in quattro azioni (fasi) di seguito dettagliate.

FASE 1-Mappatura ed identificazione dei servizi ecosistemici

La mappatura dei servizi ecosistemici ha come obiettivo identificare le aree del territorio che potenzialmente possono fornire servizi ecosistemici (valutazione qualitativa). La mappatura si basa sulla capacità delle diverse coperture del suolo di fornire SE. A livello internazionale sono stati proposti diversi metodi, tra cui quello a matrice è ampiamente utilizzato: la matrice stima la fornitura dei servizi ecosistemici sulla base dei dati relativi all'uso e alla copertura del suolo partendo da valutazioni di esperti (ad ogni classe di uso e copertura del suolo viene assegnato un punteggio in base alla capacità di fornire determinati servizi ecosistemici). Nel presente report si è scelto di utilizzare la matrice di Burkhard (impiegata in Italia nel Progetto di ricerca: “Contabilità ambientale e servizi ecosistemici della Città Metropolitana di Roma Capitale”). La matrice di Burkhard associa ad ogni classe di Corine Land Cover (banca dati europea sulla copertura del suolo) una classe di rilevanza di fornitura di SE compresa tra 0 (fornitura non rilevante) e 5 (massima rilevanza). La nomenclatura dei servizi ecosistemici considerati nella matrice di Burkhard è quella proposta da Haines-Young e Potschin (2010) nel sistema di classificazione internazionale CICES. La mappatura è stata realizzata riclassificando secondo le categorie della matrice di Burkhard le informazioni derivati dalla banca dati geografica DUSAF (Destinazione d'Uso dei Suoli Agricoli e Forestali, coerente con le specifiche CORINE Land Cover).

FASE 2- Stima della fornitura potenziale (offerta) dei servizi ecosistemici.

La contabilizzazione dei benefici ambientali realizzata nel presente report segue le indicazioni del MAES (Mapping and Assessment of Ecosystems and their Services) che prevede la quantificazione biofisica dell'offerta (e la valutazione economica) dei servizi ecosistemici. La quantificazione della fornitura dei servizi ecosistemici è stata quindi effettuata attraverso un approccio sintetico (speditivo) che prevede l'impiego di specifici coefficienti biofisici legati alla copertura del suolo e/o alla specifica tipologia vegetazionale/forestale (la stima della fornitura dei servizi ecosistemici può anche essere fatta attraverso un approccio analitico, utilizzando dati GIS dettagliati e diversi modelli e software quali ARIES - ARTificial Intelligence for Ecosystem Services - INVEST - INTe grated Valuation of Environmental Services and Tradeoffs - e SolVES - Social Values for Ecosystem Services - che si basano sui cambiamenti di uso e copertura del suolo; a questi modelli si aggiungono indicatori biofisici).

FASE 3- Stima del valore economico potenziale dei servizi ecosistemici.

La valutazione economica dei servizi ecosistemici segue le indicazioni del MAES ed è stata effettuata attraverso un approccio sintetico che prevede l'impiego di specifici coefficienti economici legati alla copertura del suolo e/o alla specifica tipologia vegetazionale/forestale e trasferendo i risultati



Fig. 4: Framework metodologico



di analoghi studi in ambito nazionale secondo un approccio Benefit Transfer (ovvero trasferendo le informazioni disponibili da studi già completati in un altro luogo e/o contesto). La tabella 1 schematizza alcune tecniche di valutazione.

I servizi ecosistemici mappati, ad esclusione del servizio di regolazione del microclima locale (isole di calore), sono stati quantificati dal punto di vista biofisico (offerta) e valutati economicamente.

FASE 4- Proposta di schemi di Pagamenti per i Servizi Ecosistemici (PES).

In Regione Lombardia attualmente sono stati definiti ed applicati alcuni casi di PES² di seguito elencati:

- Certificazione FSC per i Servizi Ecosistemici (Parco Regionale Oglio Sud), funzionale a migliorare la connessione ecologica del Fiume Oglio;
- Il Servizio Ecosistemico PES Pesca 4.o (Lago di Garda), funzionale a garantire la fornitura della risorsa ittica;
- Il PES sulla tassa di soggiorno della Comunità Montana Parco Alto Garda Bresciano, funzionale a migliorare la connessione ecologica dei bacini idrici del Lago di Garda e dei fiumi Mincio e Oglio.

La fase 4 descrive le principali caratteristiche dei PES e propone degli schemi specifici di PES per alcuni dei SE identificati nella fase 1, al fine di individuarne delle soluzioni di remunerazione sul territorio regionale.

2 Per un approfondimento consultare il link www.fondazionecriplo.it/static/upload/qua/0000/qua-valore-natura-web-03--ottimizzata-.pdf

Tab. 1: Alcune Tecniche di valutazione del Valore Economico Totale (elaborato da Bräuer 2003, MEA 2005).
Fonte: Schirpke, 2014

Metodi	SE valutabili	Componenti del Valore Economico Totale	
Tecniche dirette di mercato quando è possibile definire un valore di scambio (commerciale)	• Servizi di produzione (es. legname, altre materie prime, selvaggina, funghi)	Valore d'uso diretto	
Tecniche indirette di mercato si stimano i costi evitati (dei danni potenziali) o costi di sostituzione (di alternative ingegneristiche), oppure i costi che un soggetto affronta per godere del servizio (costi di viaggio, prezzo edonico).	• Servizi di regolazione (es. impollinazione, protezione dalle inondazioni)	Valore d'uso indiretto	Valore d'uso
Tecniche non di mercato, es. valutazione contingente utilizzo di scenari ipotetici per valutare (attraverso interviste, questionari) disponibilità a pagare per mantenere e avere un miglioramento (es. aumento qualità d'acqua in un torrente, o quantità di pesci pescabili) o disponibilità a essere compensati per un'eventuale diminuzione di SE.	• Servizi di regolazione (es. auto-depurazione delle acque) • Valore ricreativo • Disponibilità risorse genetiche • Funzione ecologica di habitat o specie (es. key species)	Valore di opzione	
Valutazione partecipativa (approccio più recente) prevede la definizione collettiva di valori, che può coinvolgere pareri di esperti (conoscenza esperta) o/e pareri di attori locali (conoscenza locale), in sinergia.	• Servizi culturali (valori sociali) • Soddisfazione che la risorsa esista	Valore d'esistenza	Valore di non-uso

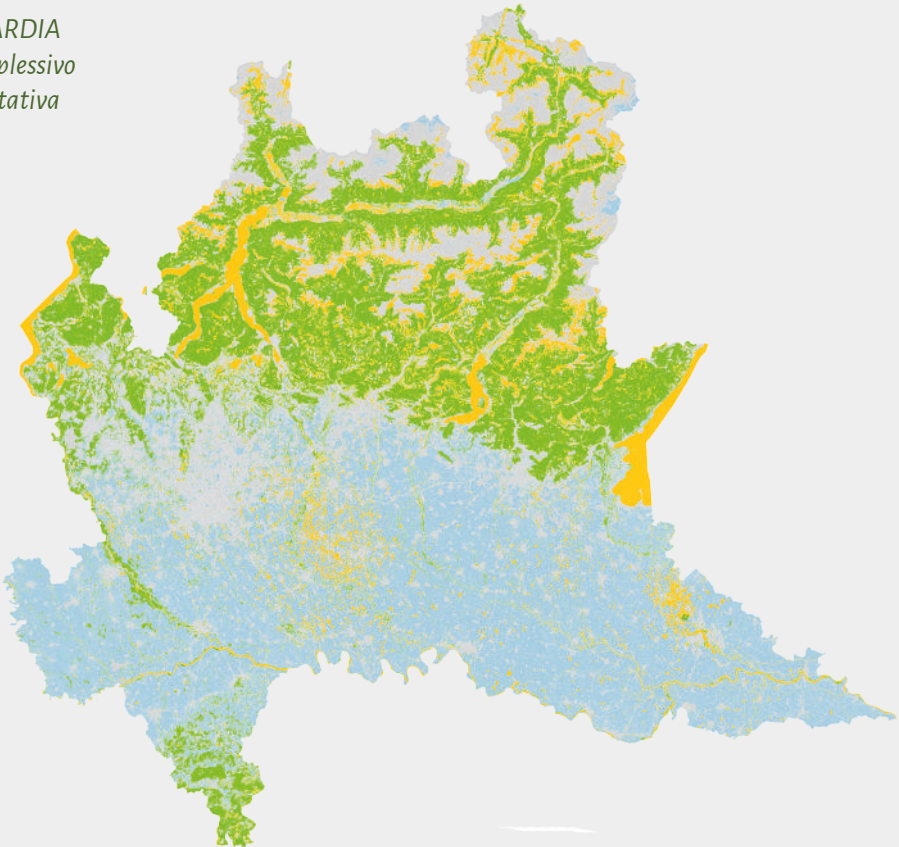
Risultati: alcune proposte di PES

Le schede seguenti mostrano gli otto servizi ecosistemici considerati, dandone sia una rappresentazione complessiva a livello di Regione Lombardia e di Città Metropolitana di Milano (prima scheda) sia una rappresentazione sui singoli servizi associata alla valutazione biofisica ed economica (dove possibili) e alla proposta di alcuni schemi di PES che potrebbero essere implementati in Regione Lombardia (schede successive).

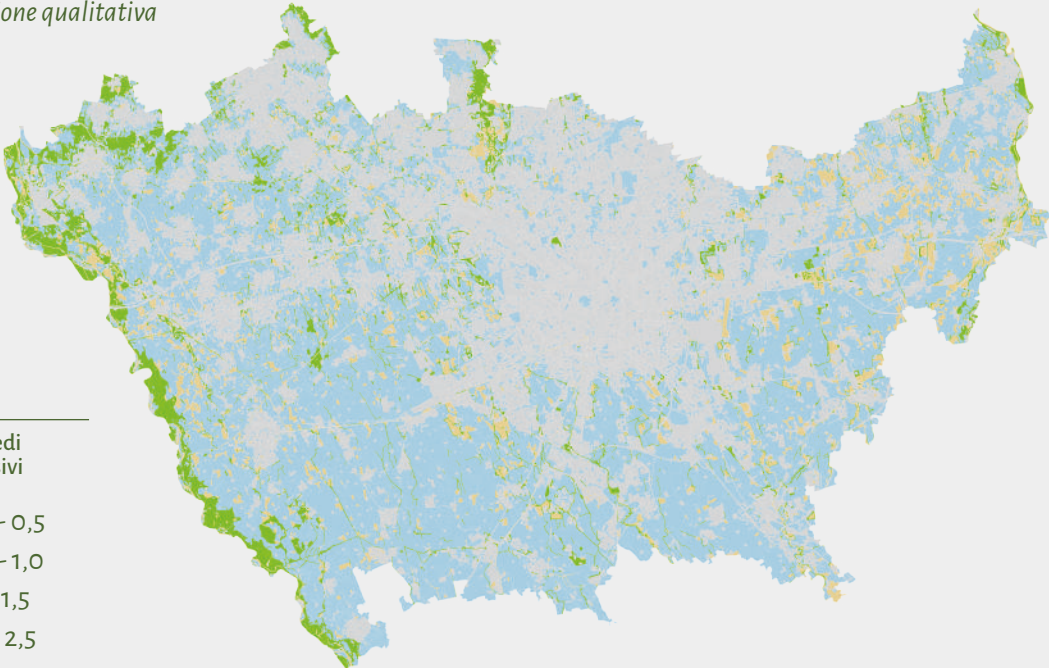
MAPPATURA SCIENTIFICA COMPLESSIVA DEI POTENZIALI SERVIZI ECOSISTEMICI EROGATI IN REGIONE LOMBARDIA E NELLA CITTÀ METROPOLITANA DI MILANO

Ogni classe di copertura del suolo ha una potenziale capacità di fornire determinati servizi ecosistemici (SE). La matrice di Burkhard consente di associare ad ogni classe di copertura del suolo un valore medio. In questo modo si possono produrre le mappe dell'offerta dei SE del territorio analizzato. Il colore del quadrato che rappresenta gli ettari di ciascuna classe corrisponde al valore medio di offerta di SE di tale classe.

REGIONE LOMBARDIA
Valore medio complessivo
Valutazione qualitativa



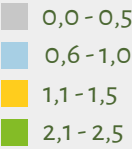
CITTÀ METROPOLITANA DI MILANO
Valore medio complessivo
Valutazione qualitativa



LEGENDA



Valori medi complessivi dei SE offerti
x classe di uso e copertura del suolo



CLASSI DI USO E COPERTURA DEL SUOLO

TOTALE COMPLESSIVO

1111 - tessuto residenziale denso

1112 - tessuto residenziale continuo mediamente denso

1121 - Tessuto residenziale discontinuo

1122 - Tessuto residenziale rado e nuclei forme

1123 - Tessuto residenziale sparso

11231 - Cascine

12111 - Insediamenti industriali, artigianali, commerciali

12112 - Insediamenti produttivi agricoli

12121 - Insediamenti ospedalieri

12122 - Impianti di servizi pubblici e privati

12123 - Impianti tecnologici

12124 - Cimiteri

12125 - Aree militari obliterate

12126 - Impianti fotovoltaici a terra

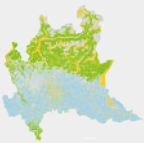
122 - Reti stradali, ferroviarie e spazi

1221 - Reti stradali e spazi accessori

1222 - Reti ferroviarie e spazi accessori

123 - Aree portuali

REGIONE LOMBARDIA



ha %
2.386.787,85 100%

6.474,96 0,27%

23.327,64 0,98%

94.002,42 3,94%

36.325,04 1,52%

12.607,33 0,53%

10.608,12 0,44%

66.529,44 2,79%

17.662,44 0,74%

1.024,43 0,04%

6.505,30 0,27%

2.427,18 0,1%

2.321,98 0,1%

1.450,09 0,06%

715,33 0,03%

67,75 0,00%

16.958,80 0,71%

3.871,97 0,16%

165,31 0,01%

CITTÀ METROPOLITANA DI MILANO



ha %
155.879,36 100%

3.486,15 2,24%

2.970,89 1,91%

16.115,30 10,34%

2.693,80 1,73%

617,37 0,40%

1.126,21 0,72%

14.492,87 9,30%

1.105,29 0,71%

281,43 0,18%

2.378,93 1,53%

515,75 0,33%

437,65 0,28%

140,25 0,09%

23,51 0,02%

3,17 0,00%

5.320,76 3,41%

1.387,32 0,89%

/ 0,00 0,00%

INCIDENZA
SUP. CMM
SU SUP. RL

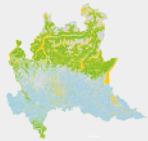


Valori medi complessivi dei SE offerti
x classe di uso e copertura del suolo

- 0,0 - 0,5
- 0,6 - 1,0
- 1,1 - 1,5
- 2,1 - 2,5

CLASSI DI USO E COPERTURA DEL SUOLO

REGIONE LOMBARDIA



ha

%

CITTÀ METROPOLITANA
DI MILANO



ha

%

INCIDENZA
SUP. CMM
SU SUP. RL

Valori medi complessivi dei SE offerti
x classe di uso e copertura del suolo

- 0,0 - 0,5
- 0,6 - 1,0
- 1,1 - 1,5
- 2,1 - 2,5

CLASSI DI USO E COPERTURA DEL SUOLO

REGIONE LOMBARDIA



ha

%

CITTÀ METROPOLITANA
DI MILANO



ha

%

INCIDENZA
SUP. CMM
SU SUP. RL

124 - Aeroporti ed eliporti



2.607,59

0,11%

448,80

0,29%



213 - Risaie



99.135,81

4,15%

14.438,66

9,26%



131 - Cave



5.235,28

0,22%

633,28

0,41%



221 - Vigneti



27.383,66

1,15%

8,20

0,01%



132 - Discariche



572,41

0,02%

44,19

0,03%



222 - Frutteti e frutti minori



5.899,32

0,25%

103,64

0,07%



133 - Cantieri



2.475,14

0,1%

663,82

0,43%



223 - Oliveti



3.185,05

0,13%

0,50

0,00%



134 - Aree degradate non utilizzate e non vegetate



1.603,65

0,07%

296,64

0,19%



2241 - Pioppeti



29.703,19

1,24%

1.565,60

1,00%



1411 - Parchi e giardini



15.492,07

0,65%

4.829,46

3,10%



2242 - Altre legnose agrarie



4.023,18

0,17%

263,75

0,17%



1412 - Aree verdi incolte



7.442,47

0,31%

1.749,77

1,12%



2311 - Prati permanenti in assenza di specie arboree ed arbustive



119.444,59

5,00%

6.849,67

4,39%



1421 - Impianti sportivi



12.790,18

0,54%

2.572,52

1,65%



2312 - Prati permanenti con presenza di specie arboree ed arbustive sparse



19.768,23

0,83%

130,58

0,08%



1422 - Campeggi e strutture turistiche e ricettive



1.039,34

0,04%

94,20

0,06%



2313 - Marcite



142,33

0,01%

/

0,00%



1423 - Parchi divertimento



201,04

0,01%

36,25

0,02%



3111 - Boschi di latifoglie a densità media e alta



149,94

0,01%

/

0,00%



1424 - Aree archeologiche



13,21

0,0%

0,20

0,00%



31111 - Boschi di latifoglie a densità media e alta governati a ceduo



341.369,33

14,3%

6.475,88

4,15%



2111 - Seminativi semplici



665.333,56

27,88%

50.593,33

32,46%



31112 - Boschi di latifoglie a densità media e alta governati ad alto fusto



3.367,22

0,14%

3,85

0,00%



2112 - Seminativi arborati



3.629,88

0,15%

416,86

0,27%



3112 - Boschi di latifoglie a densità bassa



28,18

0,00%

/

0,00%



21131 - Colture orticole a pieno campo



20.520,28

0,86%

986,64

0,63%



31121 - Boschi di latifoglie a densità bassa governati a ceduo



4.793,64

0,2%

755,20

0,48%



21132 - Colture orticole protette



3.103,69

0,13%

114,56

0,07%



31122 - Boschi di latifoglie a densità bassa governati ad alto fusto



512,92

0,02%

/

0,00%



21141 - Colture floro-vivaistiche a pieno campo



5.039,79

0,21%

412,24

0,26%



3113 - Formazioni ripariali



21.634,16

0,91%

2.673,17

1,71%



21142 - Colture floro-vivaistiche protette



674,28

0,03%

64,13

0,04%



3114 - Castagneti da frutto



1.945,67

0,08%

212,57

0,14%



2115 - Orti familiari



1.799,60

0,08%

630,94

0,40%



3121 - Boschi conifere a densità media e alta



132.841,05

5,57%

3,70

0,00%



Valori medi complessivi dei SE offerti
x classe di uso e copertura del suolo

- 0,0 - 0,5
- 0,6 - 1,0
- 1,1 - 1,5
- 2,1 - 2,5

CLASSI DI USO E COPERTURA DEL SUOLO

3122 - Boschi di conifere a densità bassa

3131 - Boschi misti a densità media e alta

31311 - Boschi misti a densità media e alta governati
a ceduo

31312 - Boschi misti a densità media e alta governati
ad alto fusto

3132 - Boschi misti a densità bassa

31321 - Boschi misti a densità bassa governati a ceduo

31322 - Boschi misti a densità bassa governati
ad alto fusto

314 -Rimboschimenti recenti

3211 - Praterie naturali d'alta quota assenza di specie
arboree e arbustive

3212 - Praterie naturali d'alta quota con presenza di
specie arboree e arbustive sparse

3221 - Cespuglieti

3222 - Vegetazione dei greti

3223 - Vegetazione degli argini sopraelevati

3241 - Cespuglieti con presenza significativa di specie
arbustive alte ed arboree

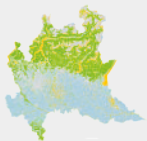
3242 - Cespuglieti in aree di agricole abbandonate

331 - Spiagge, dune ed alvei ghiaiosi

332 - Accumuli detritici e affioramenti litoidi privi
di vegetazione

333 - Vegetazione rada

REGIONE LOMBARDIA



ha

%

CITTÀ METROPOLITANA
DI MILANO



ha

%

INCIDENZA
SUP. CMM
SU SUP. RL

Valori medi complessivi dei SE offerti
x classe di uso e copertura del suolo

- 0,0 - 0,5
- 0,6 - 1,0
- 1,1 - 1,5
- 2,1 - 2,5

CLASSI DI USO E COPERTURA DEL SUOLO

335 - Ghiacciai e nevi perenni

411 - Vegetazione delle aree umide interne e delle torbiere

511 - Alvei fluviali e corsi d'acqua artificiali

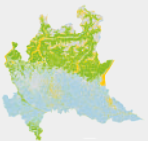
5121 - Bacini idrici naturali

5122 - Bacini idrici artificiali

5123 - Bacini idrici da attività estrattive
interessanti la falda

TOTALE COMPLESSIVO

REGIONE LOMBARDIA



ha

%

CITTÀ METROPOLITANA
DI MILANO



ha

%

INCIDENZA
SUP. CMM
SU SUP. RL

6.612,18

0,28%

0,00

0,00%

3.396,01

0,07%

108,03

0,07%

16.403,33

0,69%

1.003,85

0,64%

56.607,56

2,37%

77,26

0,05%

4.055,18

0,17%

465,56

0,30%

2.135,84

0,09%

578,58

0,37%

2.386.787,85

100%

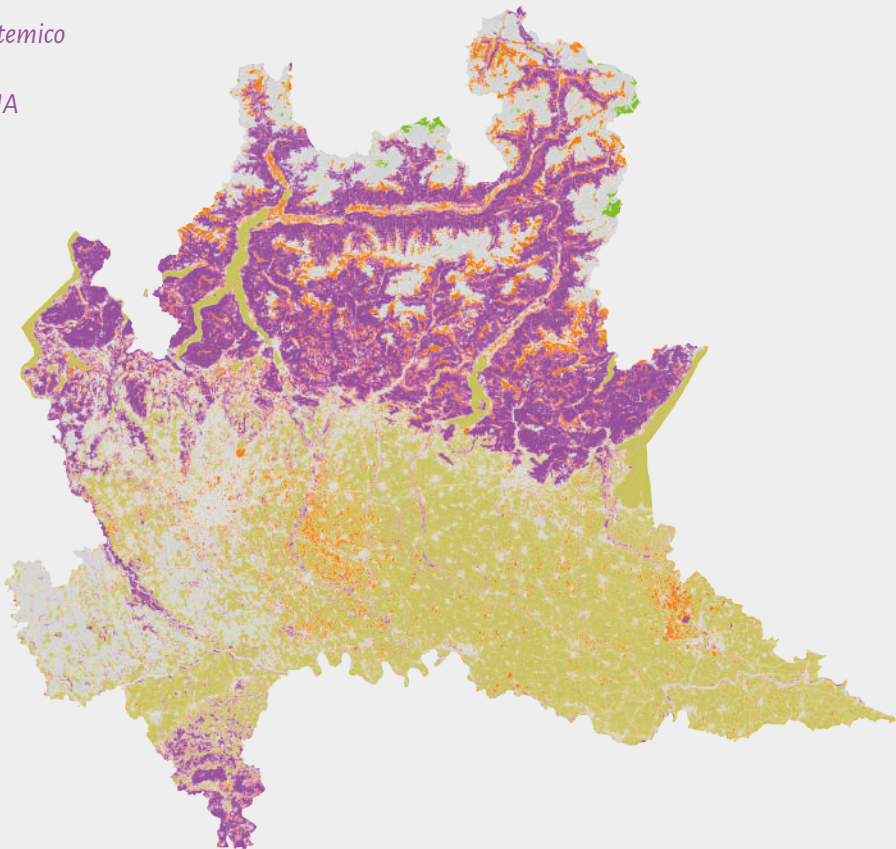
155.879,36

100%

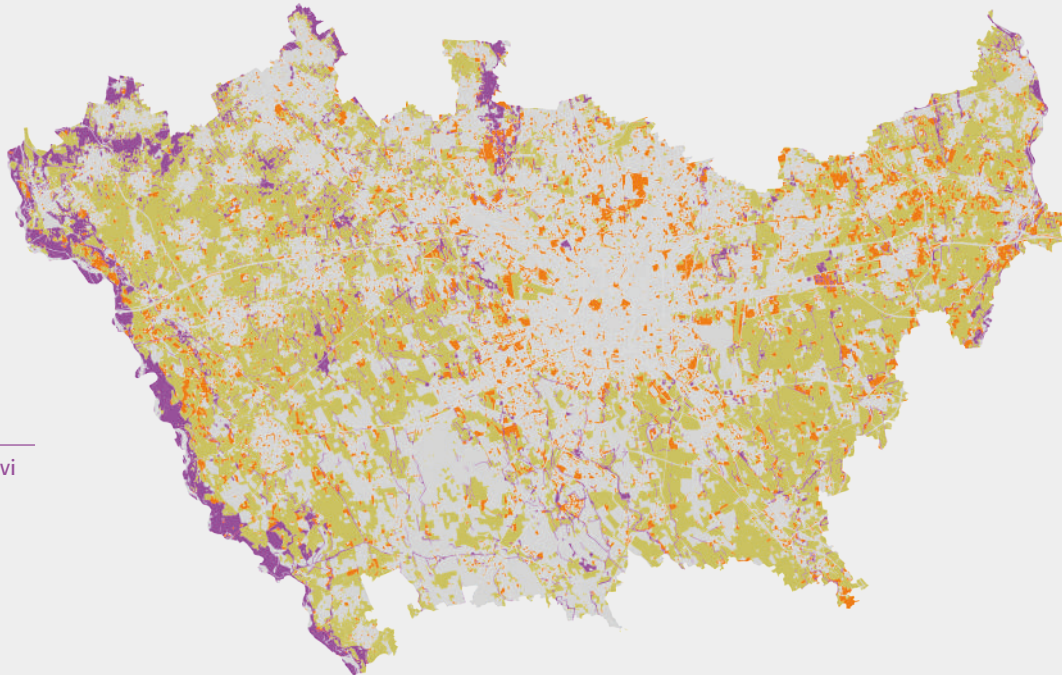
SEQUESTRO DI CARBONIO
(CARBON SINK)

offerta di SE (parametro stimato)
CO₂ sequestrata (t/anno)

Mappa Servizio Ecosistemico
Sequestro di carbonio
REGIONE LOMBARDIA



Mappa Servizio Ecosistemico
Sequestro di carbonio
CITTÀ METROPOLITANA DI MILANO



Gli ecosistemi forestali sono in grado di sequestrare carbonio dall'atmosfera.
Tale servizio ecosistemico riveste particolare importanza per contrastare i cambiamenti climatici.

QUANTIFICAZIONE BIOFISICA

estensione dell'ecosistema considerato

Superficie occupata da diverse tipologie forestali (A) (ha)

coefficienti utilizzati per la stima

tre tipologie di coefficienti (valori diversi in relazione alle diverse tipologie forestali considerate)

INCR

incremento corrente di volume arboreo epigeo per ettaro, per regione e per tipo forestale (m³/ha)

BEF

Fattore di conversione BEF (biomassa epigea/growing stock, Biomass Expansion Factor)

WBD

densità basale del legno peso secco/peso fresco (t/m³)

Offerta (t/anno) =

$\Sigma \text{Incr} \times a \times \text{BEF} \times \text{WBD} \times 0.5$



REGIONE LOMBARDIA

fornitura

3.474.980 (t/anno)



CITTÀ METROPOLITANA DI MILANO

fornitura

20.658 (t/anno)

QUANTIFICAZIONE ECONOMICA

coefficienti utilizzati per la stima

**Costo sociale del Carbonio (€/t)
38,18 euro**

Valore economico (€/anno) =

Offerta x
costo sociale

**Quotazione media
(gen-ott 2022) del prezzo
di mercato EU-ETS (€/t)
81,96(€/t)**

Valore economico (€/anno) =

Offerta x
prezzo di mercato



REGIONE LOMBARDIA

valore economico

costo sociale

132.674.741(€/anno)

EU-ETS

284.774.621(€/anno)



CITTÀ METROPOLITANA DI MILANO

valore economico

costo sociale

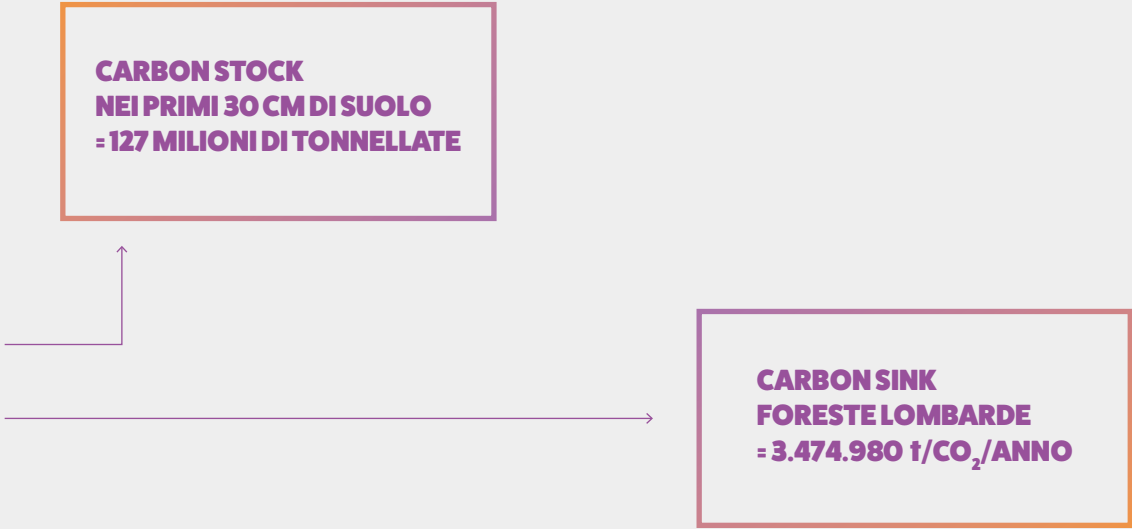
788.727(€/anno)

EU-ETS

1.692.932 (€/anno)

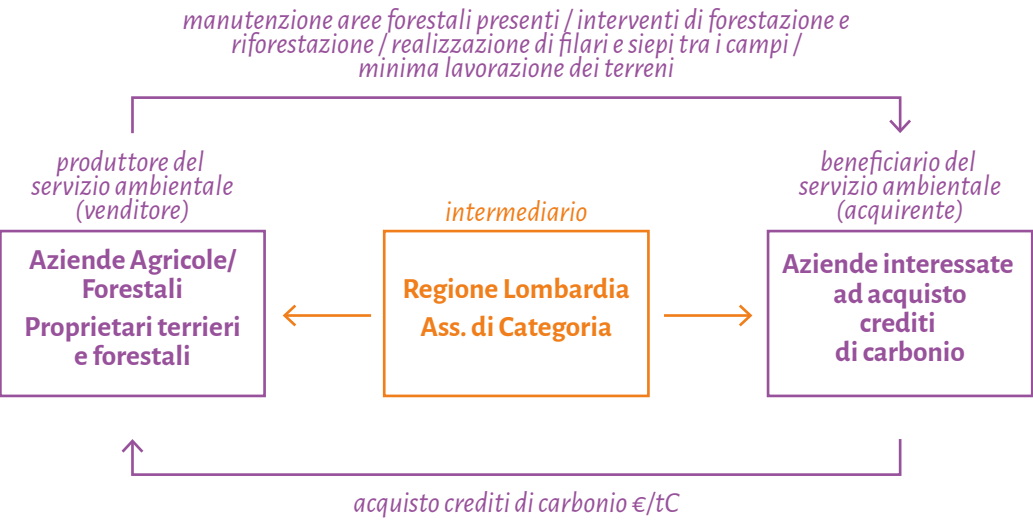
IPOTESI DI PES PER IL SERVIZIO ECOSISTEMICO
SEQUESTRO DI CARBONIO
(CARBON SINK)

Gli ecosistemi forestali e quelli legati al suolo svolgono una funzione importante nel ciclo globale del carbonio. In Regione Lombardia, secondo i risultati del “Progetto Kyoto” (coordinato da FLA-Fondazione Lombardia per l'Ambiente) e del progetto “Soilqualimon” (realizzato da ERSAF e MAC-Minoprio Analisi e Certificazioni) la quantità di carbon stock, immagazzinato nei primi 30 centimetri di suolo, è di circa 127 Mln di tonnellate di carbonio, di cui il 44% è contenuto nei suoli coltivati. La capacità di assorbimento netta (Carbon sink) totale delle foreste lombarde viene stimata in 946.861 tonnellate di carbonio/anno (3.474.980 t/CO₂).



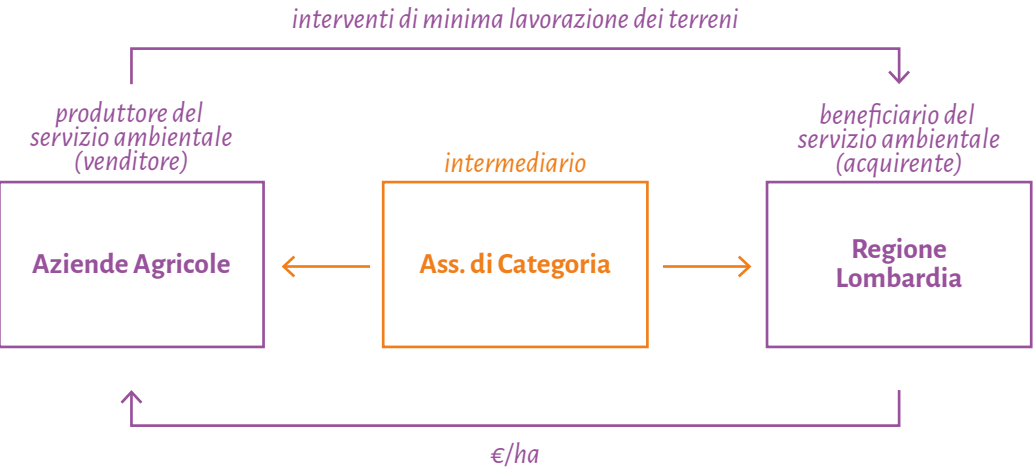
prima ipotesi (privato - privato)

Coinvolgimento di imprese private, che intendono acquistare i crediti di carbonio per compensare le proprie emissioni climalteranti, e di aziende agricole/forestali e proprietari dei territori forestali pubblici e privati che si impegnano a vendere i crediti di carbonio generati dalla conservazione delle aree forestali (il mercato di riferimento è quello volontario).
Per l’implementazione di questo PES potrebbe essere replicato il meccanismo adottato nell’ambito dell’Accordo siglato in alcuni siti N2000 in Regione Lombardia nell’ambito del Progetto life MGN e della Piattaforma dei Crediti di Sostenibilità del Parco Nazionale e Riserva della Biosfera “Appennino Tosco Emiliano”, nel quale vengono scambiati i crediti di carbonio ad un prezzo di 33 € + IVA 22%



seconda ipotesi (privato - pubblico)

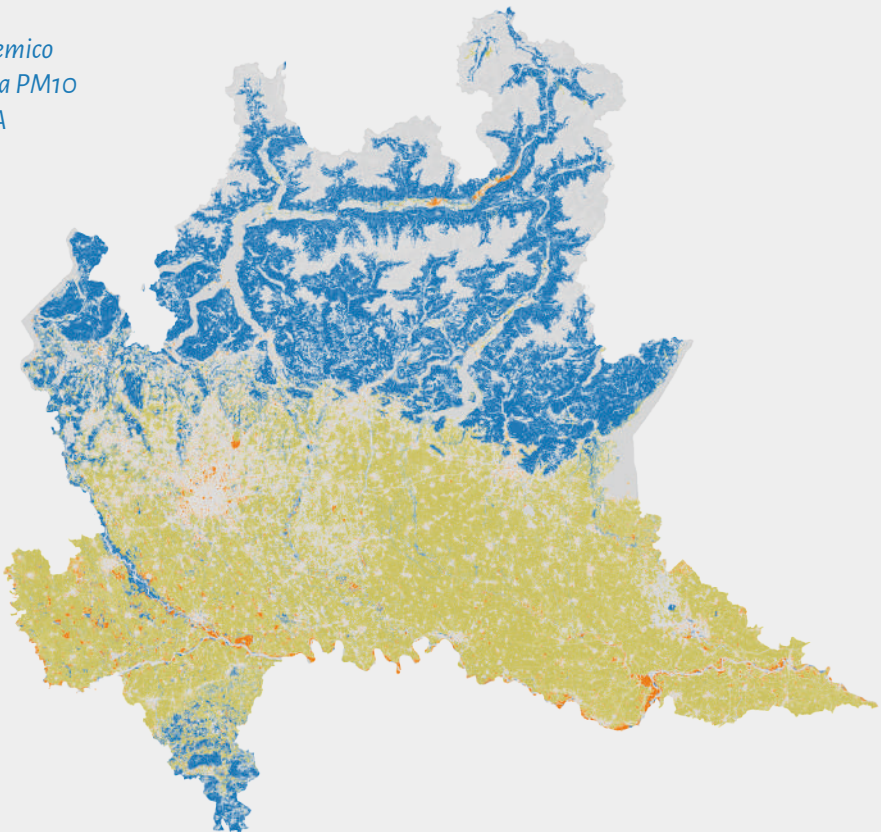
Da implementare nell’ambito del *carbon farming*, intende incentivare pratiche agricole che potenziano la capacità dei suoli di trattenere carbonio. L’ipotesi di PES è supportata anche dalla nuova PAC 2023-2027 che prevede un pagamento annuo alle aziende agricole per realizzare interventi legati alla minima lavorazione dei terreni ed interventi di agro forestazione che riguardano il mantenimento e la piantumazione di alberi negli appezzamenti di terreno coltivato per rafforzare la capacità di stoccaggio di carbonio.



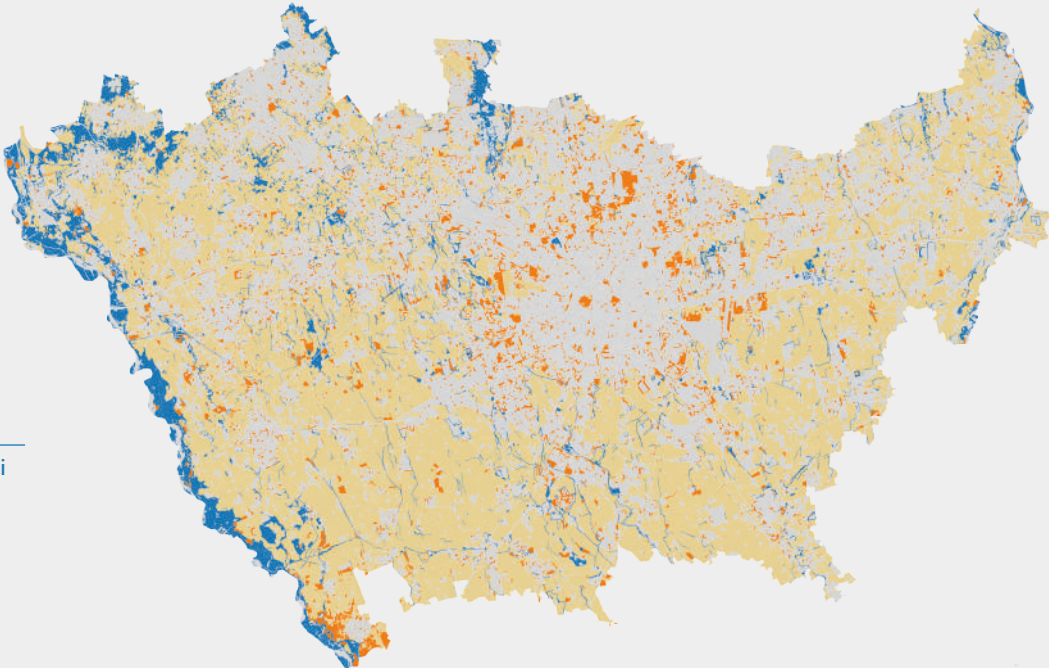
PURIFICAZIONE DELL'ARIA
PM10

offerta di SE (parametro stimato)
PM10 catturato (t/anno)

Mappa Servizio Ecosistemico
di Purificazione dell'Aria PM10
REGIONE LOMBARDIA



Mappa Servizio Ecosistemico
di Purificazione dell'Aria PM10
CITTÀ METROPOLITANA DI MILANO



Il sequestro di particolato fine (PM10) da parte della vegetazione dipende fortemente dal tipo di vegetazione. Questo SE è particolarmente rilevante nelle aree urbane dove si localizza una maggiore concentrazione di inquinanti causati soprattutto dal trasporto su strada e dal riscaldamento.

QUANTIFICAZIONE BIOFISICA

estensione dell'ecosistema considerato
**superficie forestale occupata
dai boschi di latifoglie,
boschi di conifere e
boschi misti (ha)**

coefficienti utilizzati per la stima
**coefficiente di cattura
(t/ha/anno)**
(valori diversi in relazione
alle diverse tipologie forestali
considerate)

Offerta (t/anno) =
 Σ coefficiente di cattura
per tipologia forestale
x superficie forestale



REGIONE LOMBARDIA
fornitura

157.816 (t/anno)



CITTÀ METROPOLITANA DI MILANO
fornitura

1.622 (t/anno)

QUANTIFICAZIONE ECONOMICA

coefficienti utilizzati per la stima
Costo Sociale (€/t)
costi evitati grazie alla cattura
di PM10 da parte
della vegetazione forestale
6.472 €/t

Valore economico (€/anno) =
offerta x
costo sociale



REGIONE LOMBARDIA
valore economico

1.021.362.823 (€/anno)



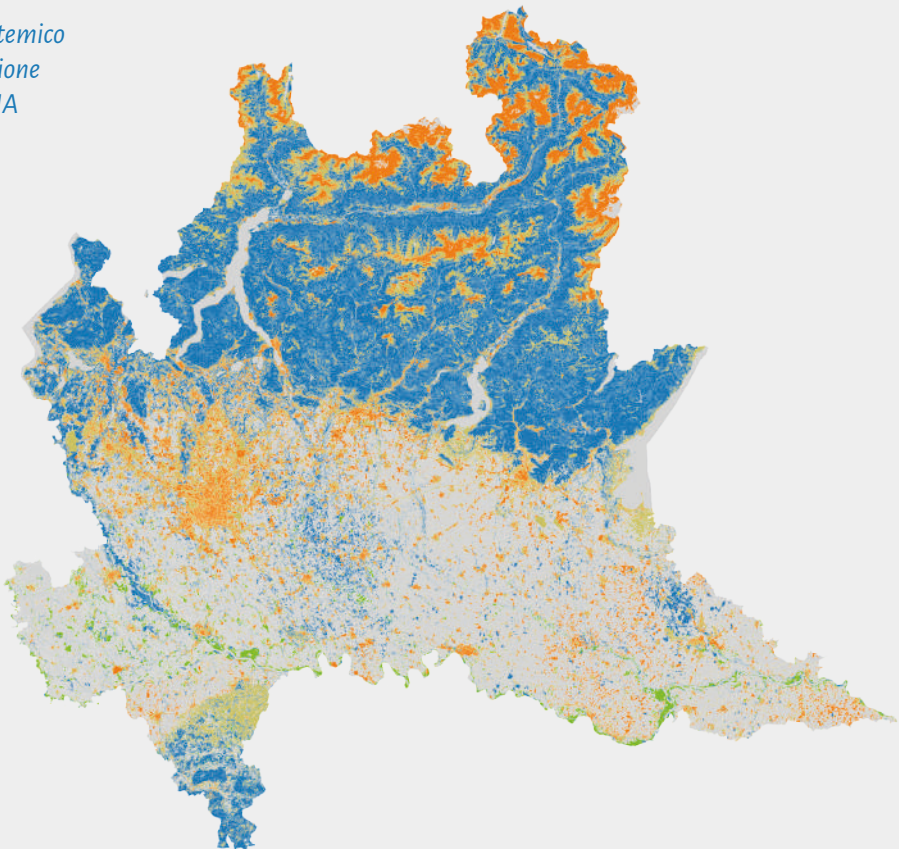
CITTÀ METROPOLITANA DI MILANO
valore economico

10.495.191 (€/anno)

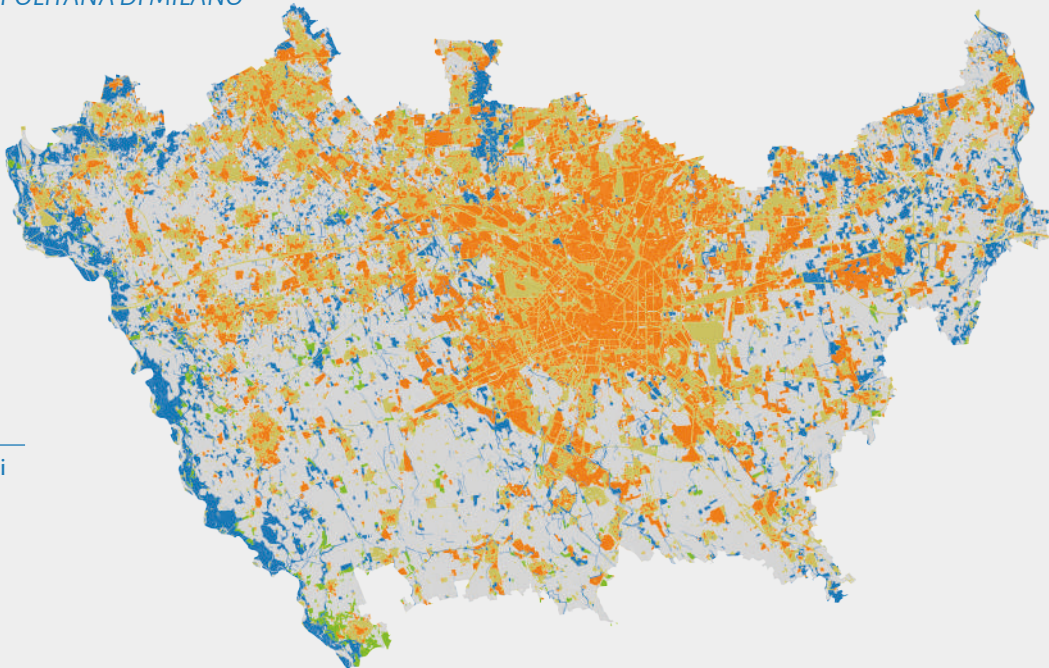
PROTEZIONE
DALL'EROSIONE

offerta di SE (parametro stimato)
Sedimenti trattenuti
(t/anno)

Mappa Servizio Ecosistemico
di Protezione dall'erosione
REGIONE LOMBARDIA



Mappa Servizio Ecosistemico
di Protezione dall'erosione
CITTÀ METROPOLITANA DI MILANO



- Valori qualitativi
- 0
 - 1
 - 2
 - 3
 - 4
 - 5

Le infrastrutture verdi favoriscono l'infiltrazione delle acque nel sottosuolo e di conseguenza riducono l'asportazione di suolo fertile (mantenimento della produttività agricola), il trasporto di sedimenti nei canali e negli alvei fluviali (minore rischio di esondazione ed allagamenti) e l'interrimento degli invasi (mantenimento della capacità di volume di acqua contenuta negli invasi e mantenimento della qualità delle acque per scopi idropotabili).

QUANTIFICAZIONE BIOFISICA

estensione dell'ecosistema considerato
Superficie forestale (ha)

605.445,78 ha - Regione Lombardia
10.126,07 ha - Città Metropolitana di Milano

coefficienti utilizzati per la stima
coefficiente di protezione
(t/ha/anno)
2 t/ha/anno

Offerta (t/anno) =
coefficiente di protezione x
superficie forestale



REGIONE LOMBARDIA
fornitura

1.210.892 (t/anno)



CITTÀ METROPOLITANA DI MILANO
fornitura

20.252 (t/anno)

QUANTIFICAZIONE ECONOMICA

coefficienti utilizzati per la stima
Costo di sostituzione
per rimpiazzare il suolo
potenzialmente perso
con terriccio universale (€/t)
44,64 €/t - 255,10 €/t

usati il valore minimo,
massimo e medio

Valore economico (€/anno) =
Offerta x
Costo di sostituzione



REGIONE LOMBARDIA
valore economico

valore minimo
54.054.199 (€/anno)
valore massimo
308.898.437 (€/anno)
valore medio
181.476.318 (€/anno)

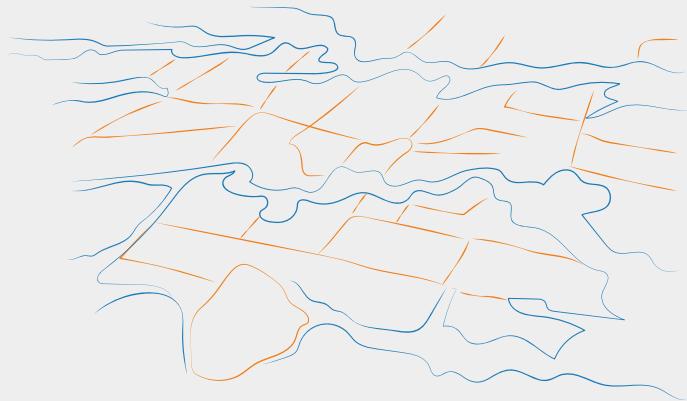


CITTÀ METROPOLITANA DI MILANO
valore economico

valore minimo
904.049 (€/anno)
valore massimo
5.166.285 (€/anno)
valore medio
3.035.167 (€/anno)

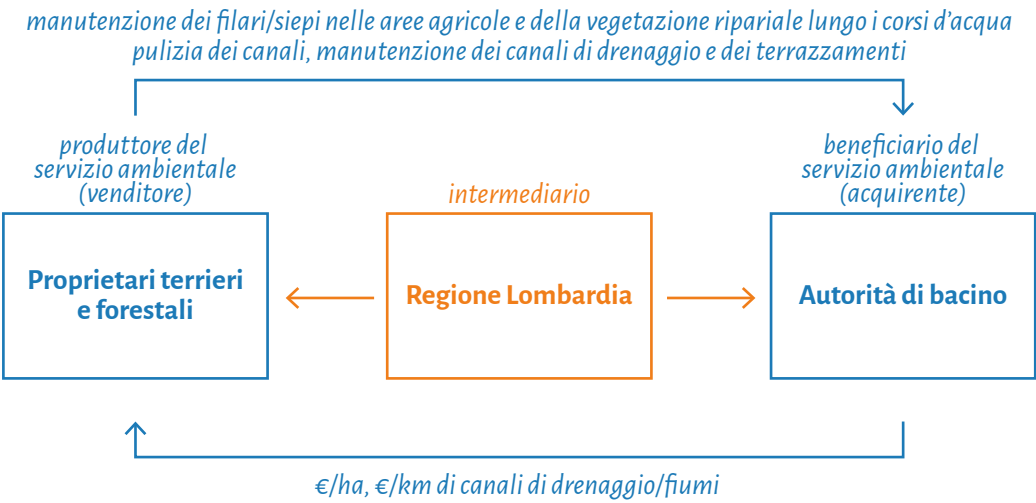
IPOTESI DI PES PER IL SERVIZIO ECOSISTEMICO
PROTEZIONE DALL'EROSIONE

L'ipotesi di PES prevede il mantenimento ed il potenziamento delle infrastrutture verdi nelle aree agricole con l'obiettivo di proteggere il territorio dall'erosione del suolo.



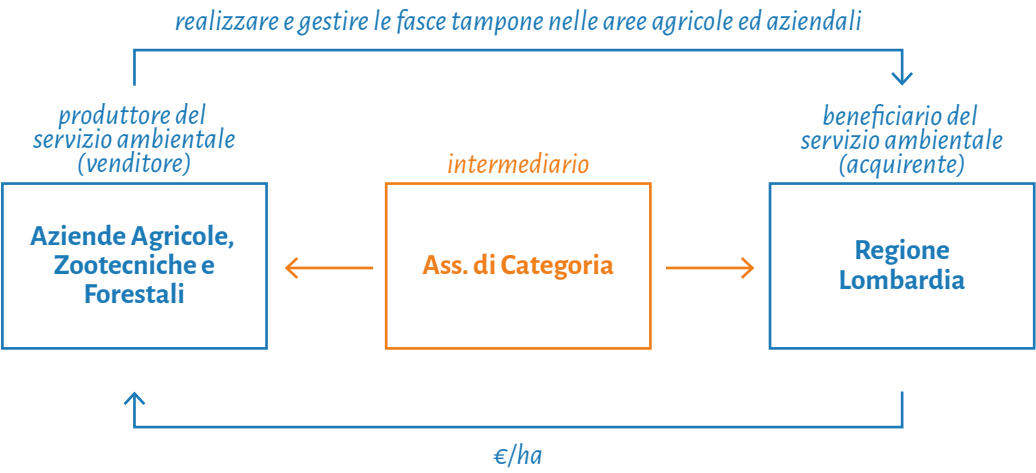
prima ipotesi (privato - pubblico)

Accordo su base volontaria tra i proprietari terrieri e gli enti locali preposti alla gestione dei canali e degli invasi. In particolare, i proprietari terrieri e forestali riceverebbero un compenso da Autorità di bacino/consorzi di bonifica per il mantenimento delle infrastrutture verdi nei campi e lungo il reticolo idrografico, la manutenzione dei canali di drenaggio e dei terrazzamenti per contrastare l'erosione del suolo e l'accumulo di sedimenti nel bacino. Questo porterebbe a minori costi per l'Autorità di bacino/consorzi di bonifica nella gestione dei canali e nella manutenzione degli invasi



seconda ipotesi (privato - pubblico)

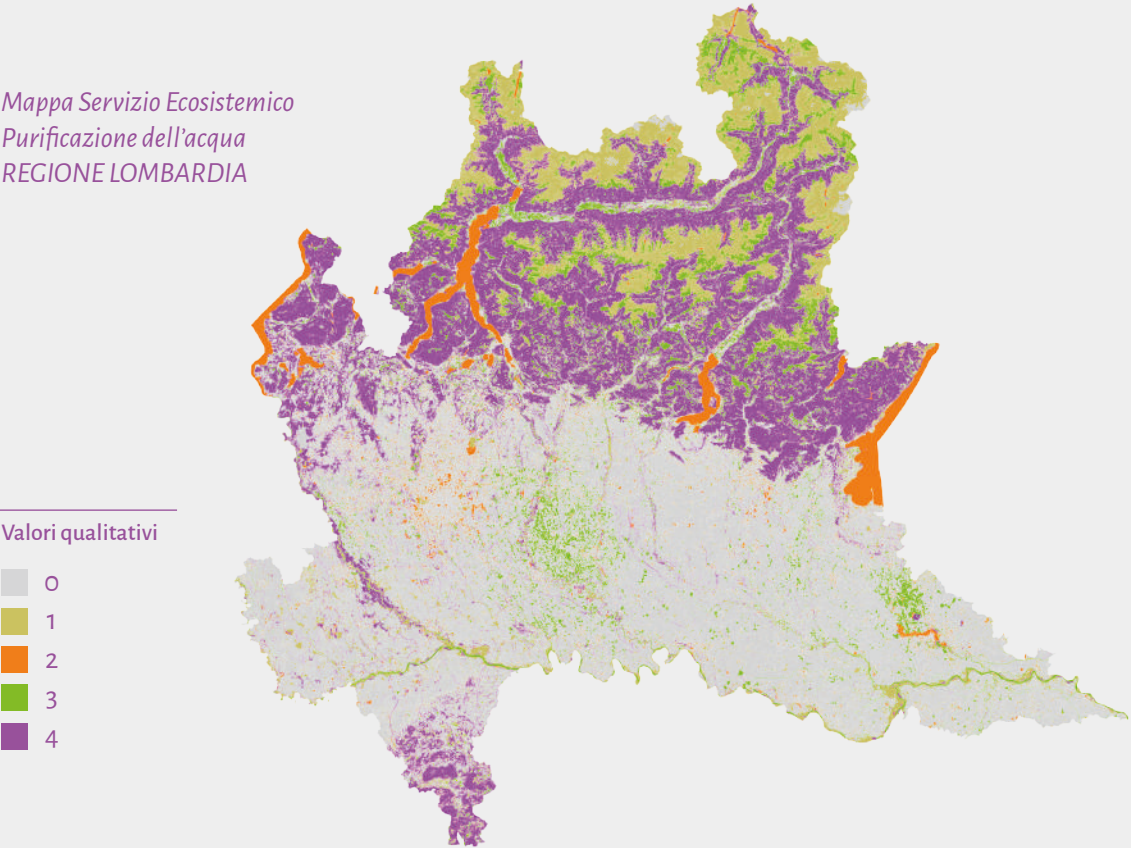
Da implementare nell'ambito dell'intervento "ACA 11 - Gestione attiva infrastrutture ecologiche" della nuova PAC, che per contrastare il rischio di erosione e le conseguenze economiche ed ambientali che ne derivano ha previsto un pagamento annuale a favore dei beneficiari che si impegnano volontariamente a realizzare e gestire fasce tampone nelle aree agricole ed aziendali (Azione 1)



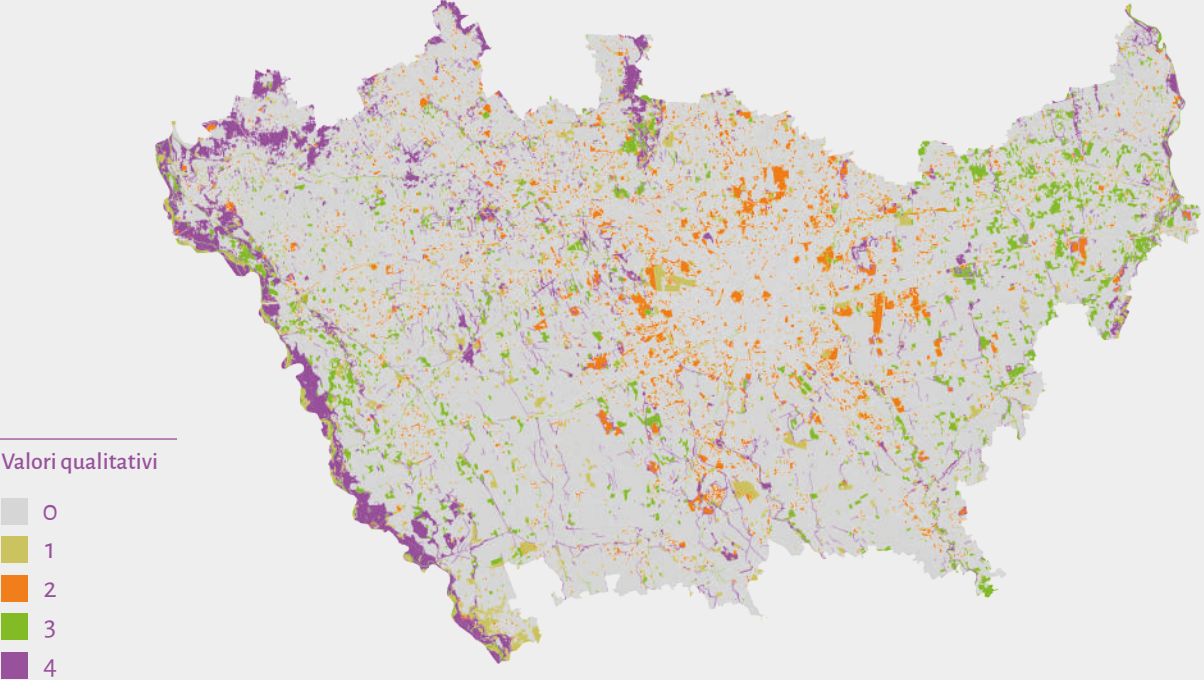
PURIFICAZIONE DELL'ACQUA

offerta di SE (parametro stimato)
nitrati e fosforo assorbiti
(kg/anno)

Mappa Servizio Ecosistemico
Purificazione dell'acqua
REGIONE LOMBARDIA



Mappa Servizio Ecosistemico
Purificazione dell'acqua
CITTÀ METROPOLITANA DI MILANO



Le infrastrutture verdi (attraverso l'apparato radicale e il processo di nitrificazione e denitrificazione) svolgono una funzione rilevante nel purificare le acque dalla presenza di Azoto (N) e Fosforo (P). Questo servizio è particolarmente rilevante nelle aree agricole ove l'eccessiva concimazione dei terreni può provocare un accumulo di questi nutrienti nel suolo per poi raggiungere le falde acquifere superficiali e sotterranee a seguito degli eventi metereologici.

QUANTIFICAZIONE BIOFISICA

estensione dell'ecosistema considerato
Superficie occupata da diversi ecosistemi/habitat (ha) per la nitrificazione le zone umide connesse al fiume, la vegetazione riparia; per la denitrificazione, i boschi ripariali; per la rimozione del fosforo, le zone umide
coefficienti utilizzati per la stima
(valori diversi in relazione alle diverse tipologie forestali considerate)
coefficienti di rimozione dei nitrati
(nitrificazione e denitrificazione)
e di rimozione del fosforo (kg/ha/anno)

Offerta (kg/anno)=
Σ coeff. di rimozione
x superficie ecosistema/habitat



REGIONE LOMBARDIA
fornitura

11.332.468 (t/anno)



CITTÀ METROPOLITANA DI MILANO
fornitura

585.950 (t/anno)

QUANTIFICAZIONE ECONOMICA

coefficienti utilizzati per la stima
Costo evitato per il disinquinamento delle acque (€/kg)
rimozione di fosforo dalle acque
7,5-15€ al kg di fosforo rimosso
rimozione di nitrati dalle acque
2-4€ al kg di N rimosso
per entrambi, considerati i valori minimo, massimo e medio

Valore economico=
Σ costi di depurazione
x offerta



REGIONE LOMBARDIA
valore economico

valore minimo
23.412.058 (€/anno)
valore massimo
46.824.117 (€/anno)
valore medio
35.118.088 (€/anno)



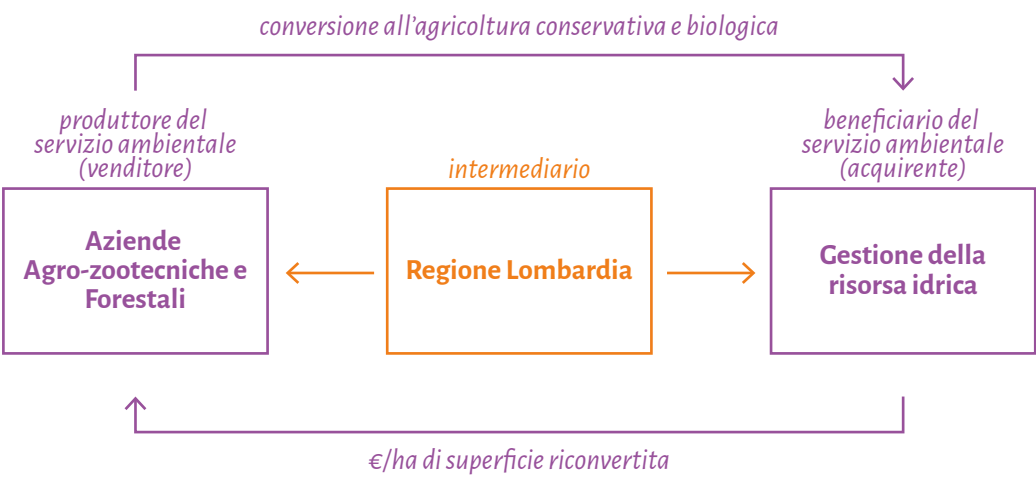
CITTÀ METROPOLITANA DI MILANO
valore economico

valore minimo
1.240.931 (€/anno)
valore massimo
2.481.861 (€/anno)
valore medio
1.861.396 (€/anno)

IPOTESI DI PES PER IL SERVIZIO ECOSISTEMICO
PURIFICAZIONE DELL'ACQUA

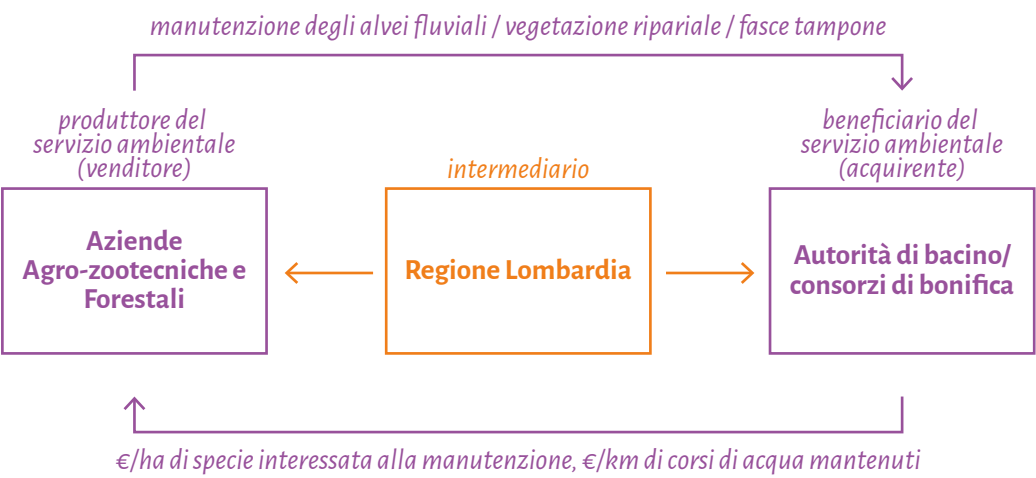
prima ipotesi (pubblico - privato)

Conversione all'agricoltura biologica, per la quale gli agricoltori potrebbero ricevere, dal gestore della risorsa idrica quale beneficiario del servizio ecosistemico, un compenso annuo per il mancato reddito (riduzione della produzione agricola) dovuto alla rinuncia a non utilizzare agrofarmaci e fertilizzanti. Il compenso da corrispondere agli agricoltori, per il mancato reddito, potrebbe provenire da un'addizionale sulla tariffa idrica oppure da finanziamenti della PAC.



seconda ipotesi (pubblico - privato)

Potenziamento delle infrastrutture verdi presenti nelle aree agricole e nello specifico delle fasce tampone, delle fasce inerbite e dei boschetti naturalistici. La realizzazione delle fasce tampone inoltre è tra le azioni previste dagli interventi agro-climatico-ambientali della nuova PAC 2023-2027. In questo specifico caso gli agricoltori potrebbero beneficiare dalla PAC di un sostegno per la realizzazione e la manutenzione delle infrastrutture verdi nelle aree agricole con la duplice finalità di preservare la biodiversità e purificare le acque.



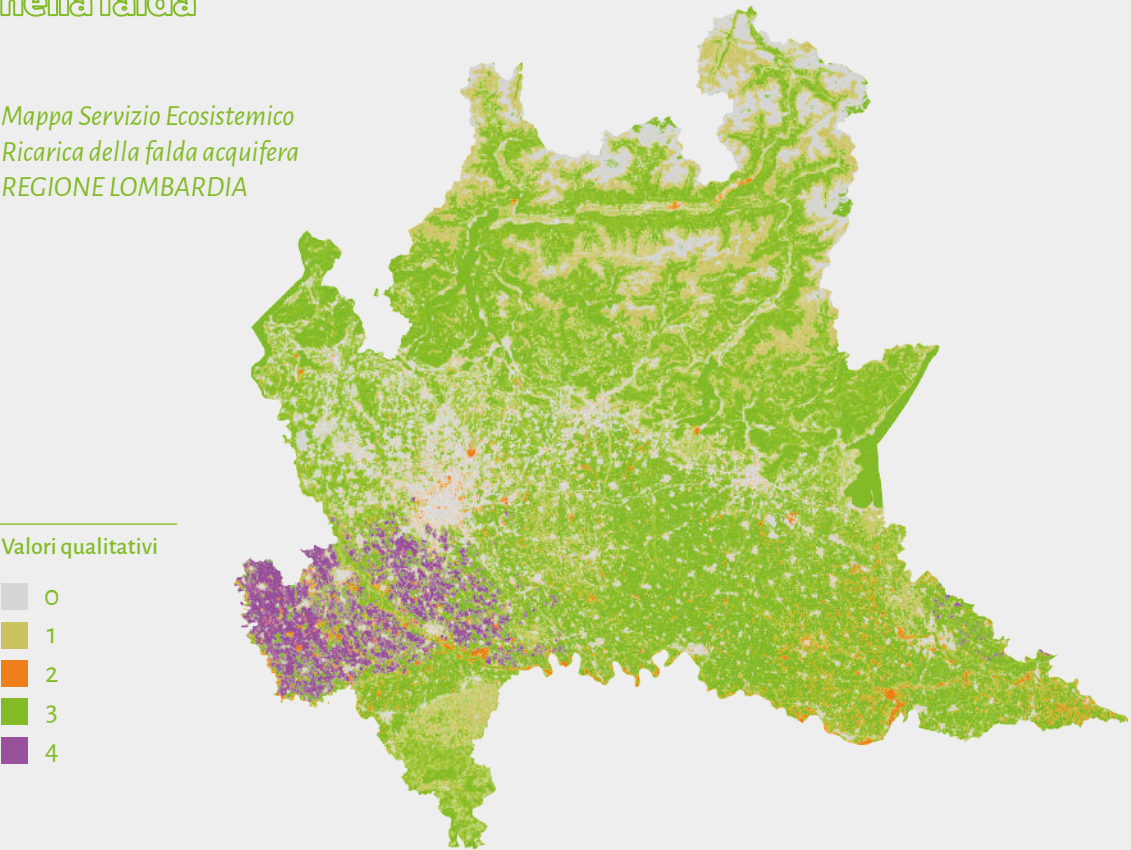
RICARICA DELLA FALDA ACQUIFERA

offerta di SE (parametro stimato)

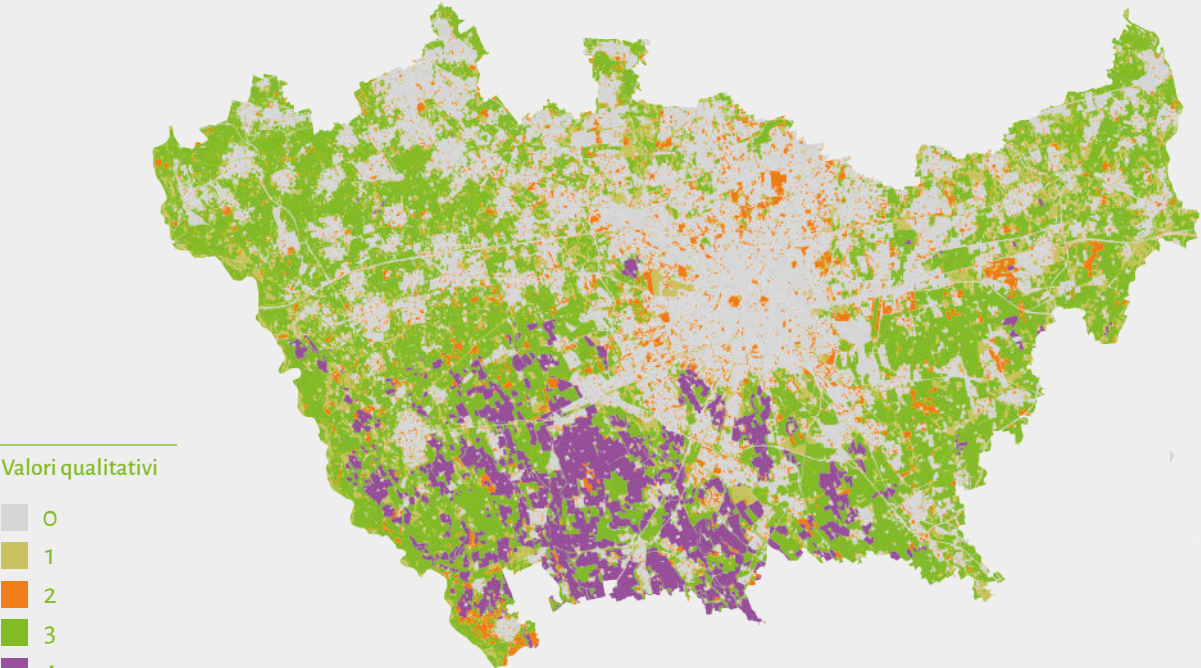
capacità di immagazzinare le acque di precipitazione nella falda

La ricarica della falda acquifera avviene attraverso l’infiltrazione delle acque superficiali e meteoriche e dipende da fattori naturali (permeabilità dei suoli, pendenza ecc) e dall’uso e copertura del suolo. Le continue trasformazioni del suolo e del paesaggio hanno determinato, unitamente ai cambiamenti climatici, un cambiamento delle funzioni ecosistemiche e di conseguenza un’alterazione della capacità di immagazzinare le acque di precipitazione nel suolo e quindi nelle falde.

Mappa Servizio Ecosistemico
Ricarica della falda acquifera
REGIONE LOMBARDIA



Mappa Servizio Ecosistemico
Ricarica della falda acquifera
CITTÀ METROPOLITANA DI MILANO



QUANTIFICAZIONE BIOFISICA

estensione dell'ecosistema considerato

bilancio idrologico - precipitazioni - deflussi

coefficienti utilizzati per la stima

bilancio idrologico medio della Regione Lombardia nel periodo 1951-2019

Offerta - 7,2 km³

QUANTIFICAZIONE ECONOMICA

coefficienti utilizzati per la stima

costo di sostituzione (€/m³): costo di realizzazione di un serbatoio artificiale che presenta le stesse funzioni degli ecosistemi naturali 9,8 €/m³

Valore economico (€/anno) = offerta x costo di sostituzione



REGIONE LOMBARDIA
fornitura

7,2 km³



REGIONE LOMBARDIA
valore economico

70.560.000.000 (€/anno)



CITTÀ METROPOLITANA DI MILANO
fornitura

n.d.



CITTÀ METROPOLITANA DI MILANO
valore economico

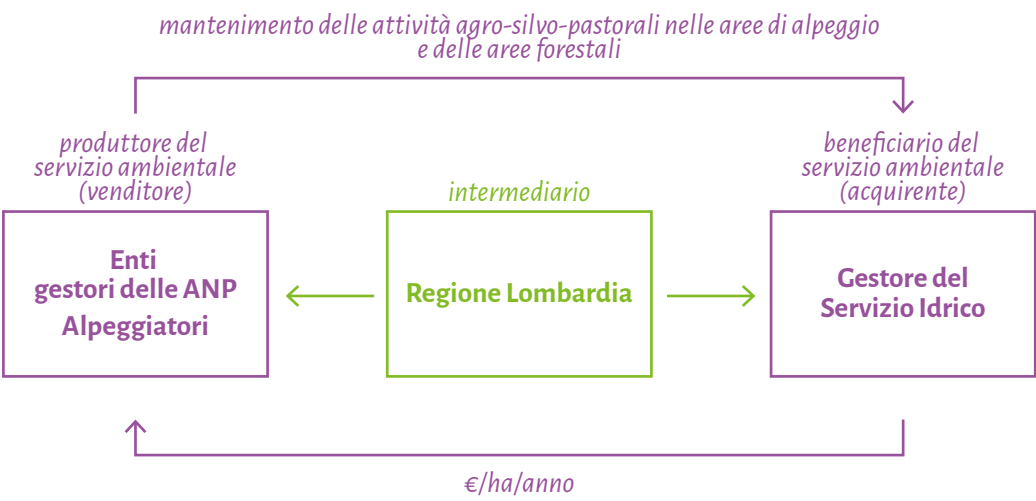
n.d.

IPOTESI DI PES PER IL SERVIZIO ECOSISTEMICO RICARICA DELLA FALDA ACQUIFERA

Nelle aree di montagna dove viene praticato l'alpeggio, le attività agro-silvo-pastorali sono fondamentali in quanto il mantenimento delle superfici boscate, delle praterie e dei pascoli favorisce l'infiltrazione naturale delle acque meteoriche in falda. L'abbandono delle attività legate all'alpeggio comporta una modificazione della struttura e della funzionalità degli ecosistemici in grado di alterare il ciclo dell'acqua. Ne consegue un aumento del volume di acqua di ruscellamento ed una riduzione del volume di acqua che raggiunge la falda sotterranea.

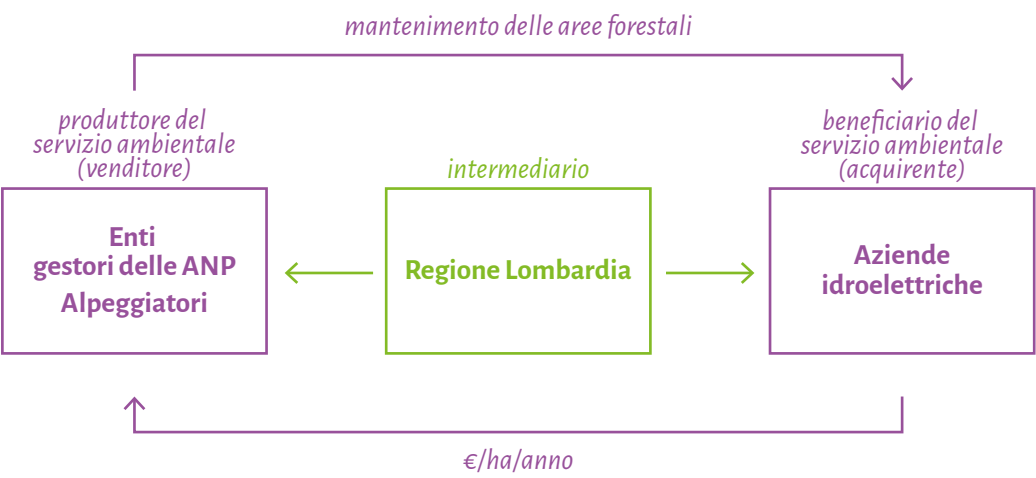
prima ipotesi (privato - pubblico)

Intende riprendere il meccanismo definito, ma non attuato, nell'ambito del Progetto LIFE MGN, per il sito Natura 2000 Sasso Malascarpa presente in Regione Lombardia, e gestito da ERSAF (Ente Regionale per i Servizi all'Agricoltura e alle Foreste). Il meccanismo di PES potrebbe prevedere un pagamento, da parte dei gestori dei servizi idrici di una quotaparte della tariffa idrica agli Enti gestori delle aree naturali protette (ANP) e alle attività tradizionali legate all'alpeggio che garantirebbero il mantenimento delle superfici boscate e di quelle utilizzate a pascolo allo scopo di favorire l'immissione di acqua superficiale nel sottosuolo per la ricarica della falda.



seconda ipotesi (privato - pubblico)

Coinvolgimento delle aziende idroelettriche presenti in Regione Lombardia (acquirente) e le aree naturali protette- ANP (venditore). Le aziende idroelettriche potrebbero corrispondere un pagamento annuo per favorire interventi di manutenzione delle aree forestali dei bacini idrografici per favorire l'infiltrazione delle acque in falda.

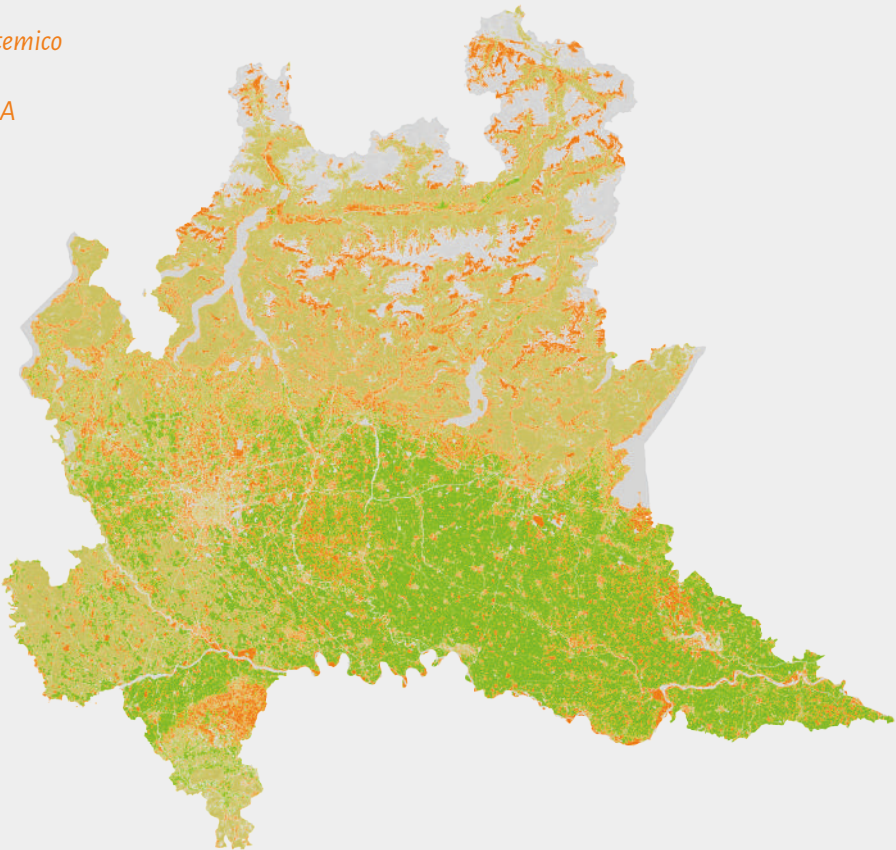


IMPOLLINAZIONE

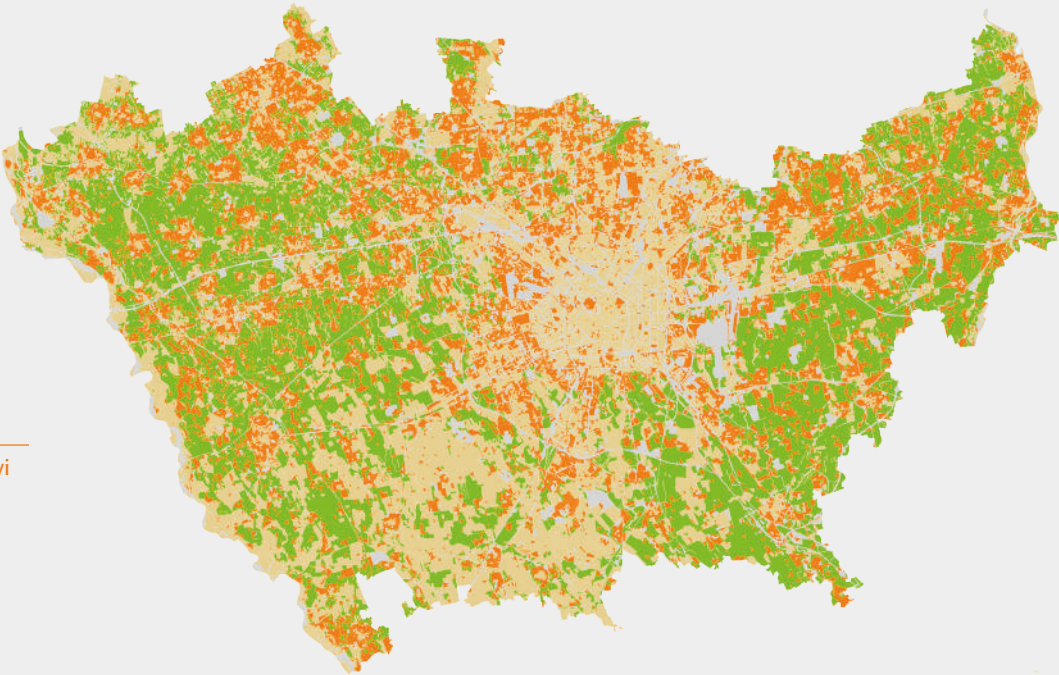
offerta di SE (parametro stimato)
n.d

L'impollinazione è considerata da diverse politiche e strategie (tra cui la Nuova PAC) uno dei servizi ecosistemici di regolazione importanti per la conservazione e la tutela della biodiversità e per garantire la produzione agricola. Molte varietà colturali dipendono fortemente dall'impollinazione.

Mappa Servizio Ecosistemico
Impollinazione
REGIONE LOMBARDIA



Mappa Servizio Ecosistemico
Impollinazione
CITTÀ METROPOLITANA DI MILANO



QUANTIFICAZIONE BIOFISICA

n.d

QUANTIFICAZIONE ECONOMICA

coefficienti utilizzati per la stima
**EVIP (Economic Value of
Insect Pollination)
per area agricola (EVIP/Km²)**

**Valore medio per l'Italia
18.016 €/km²**

Il coefficiente medio EVIP si applica
alla superficie occupata dai frutteti
nella Regione Lombardia (58,9932 km²)
e nella Città Metropolitana (1,0364 km²)



REGIONE LOMBARDIA
fornitura

n.d



REGIONE LOMBARDIA
valore economico

1.062.820 (€/anno)



CITTÀ METROPOLITANA DI MILANO
fornitura

n.d.



CITTÀ METROPOLITANA DI MILANO
valore economico

18.672 (€/anno)

IPOTESI DI PES PER IL SERVIZIO ECOSISTEMICO
IM POLLINAZIONE

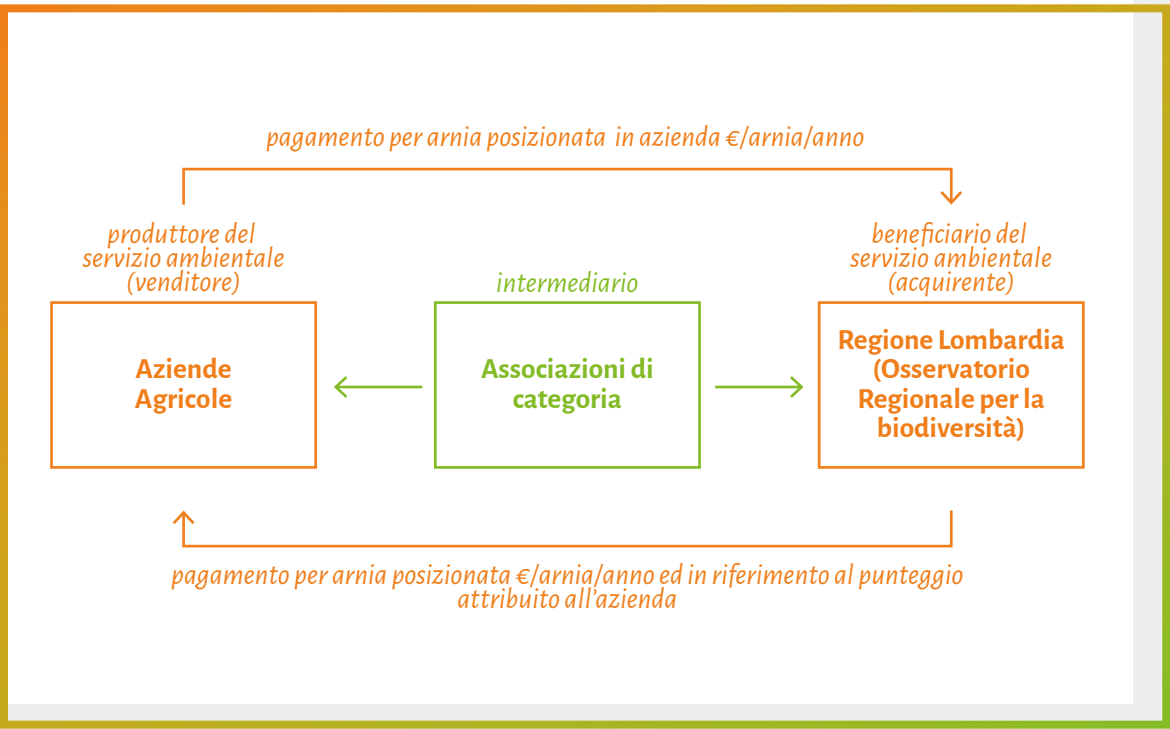
Una prima ipotesi di PES da realizzare in Regione Lombardia consiste nel replicare quanto costruito dalla Regione Umbria con il Progetto denominato “Operation Pollinator”. Il progetto, sviluppato nel corso della Programmazione 2007-2013 del PSR della Regione Umbria, ha l’obiettivo di creare degli habitat per gli insetti impollinatori con la duplice finalità di perseguire obiettivi di tutela e conservazione della biodiversità ed aumentare/migliorare la produzione agricola attraverso l’impollinazione naturale. L’accordo di PES prevedeva un incentivo agli agricoltori dal PSR per la coltivazione di leguminose e colza funzionali ad attrarre gli insetti pronubi e l’assistenza tecnica agli agricoltori per la gestione agronomica.

Una seconda ipotesi di PES da realizzare in Regione Lombardia consiste nel replicare la buona pratica denominata “Protecting Farmland Pollinators” (PFP) contenuta nell’Handbook n.3 del Progetto Interreg Europe PROGRESS. La buona pratica prevede la collaborazione tra 40 agricoltori della contea di Kildar e 14 contee delle regioni Eastern e Midland (Irlanda), per sviluppare un meccanismo che incoraggia gli agricoltori a rendere la propria fattoria un ambiente favorevole agli insetti impollinatori senza compromettere la propria produttività.

Sulla base di un sistema di punteggio a scala aziendale, che quantifichi quanto sia favorevole agli impollinatori la singola azienda, l’agricoltore riceve un pagamento annuale per la coltivazione ed il mantenimento di superfici con varietà colturali attrattive degli insetti impollinatori. Il pagamento potrebbe provenire dalle misure previste dalla PAC.

La proposta di PES rientra tra l’altro nell’Ecoschema 5 - “Misure specifiche per gli impollinatori”, che prevede un pagamento annuale aggiuntivo al sostegno di base al reddito per le aziende agricole che si impegnano ad adottare misure a tutela e salvaguardia degli insetti impollinatori.

prima ipotesi (privato - pubblico)



REGOLAZIONE DEL CLIMA
LOCALE
(ISOLE DI CALORE)

La regolazione del microclima locale dipende da molteplici fattori ed in particolare dalla quantità di vegetazione all'interno dei centri urbani, dalla traspirazione e dall'evaporazione della chioma.

offerta di SE (parametro stimato)
n.d

Mappa Servizio Ecosistemico
di Regolazione del clima locale
REGIONE LOMBARDIA

Valori qualitativi

- 0
- 1
- 2
- 3
- 4
- 5

Mappa Servizio Ecosistemico
di Regolazione del clima locale
CITTÀ METROPOLITANA DI MILANO

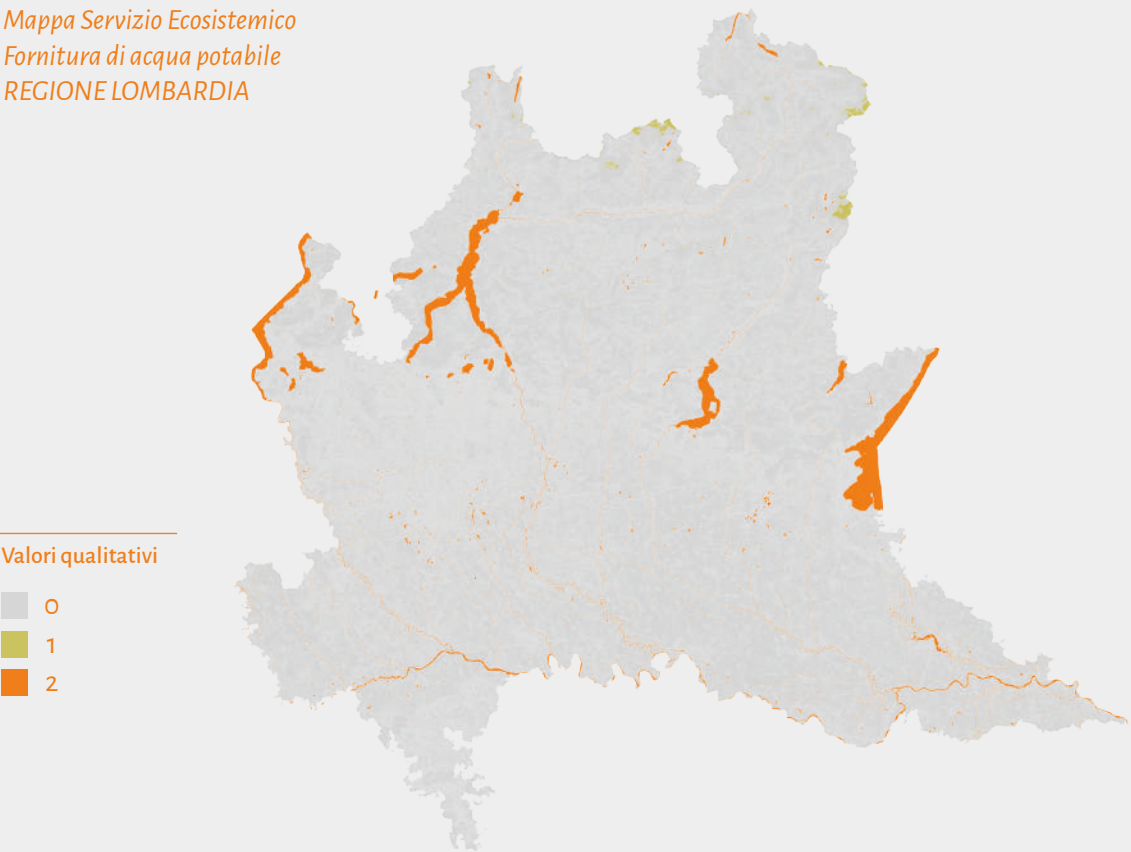
Valori qualitativi

- 0
- 1
- 2
- 3
- 5

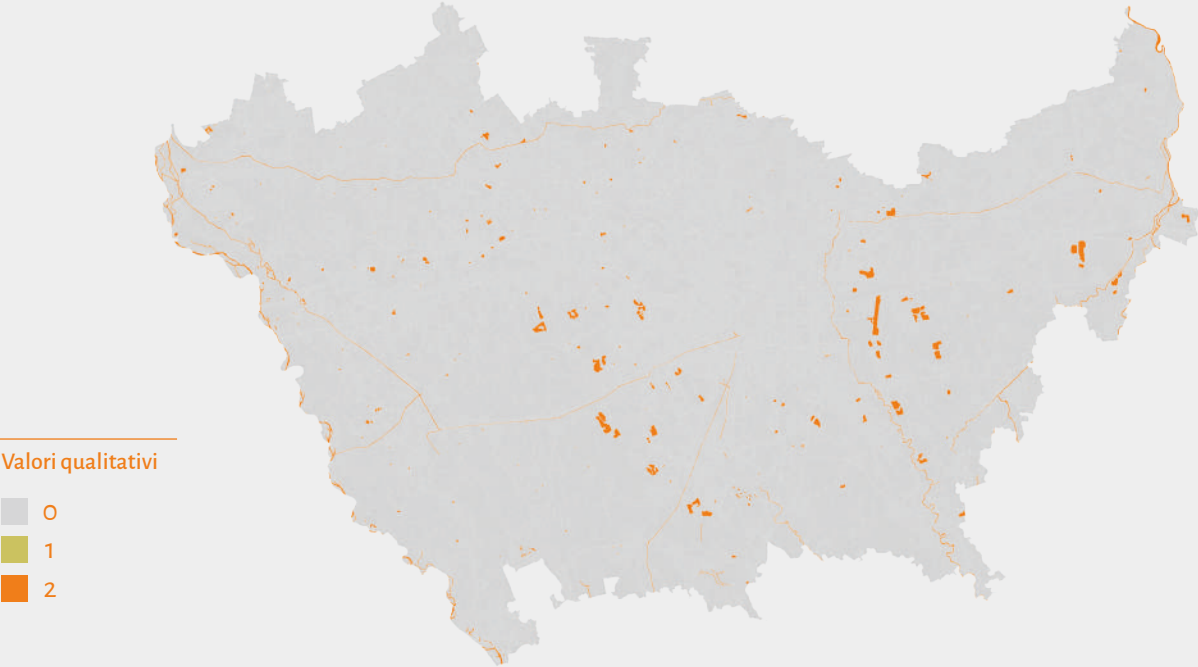
FORNITURA
DI ACQUA POTABILE

offerta di SE (parametro stimato)
fornitura di acqua potabile
(m³/anno)

Mappa Servizio Ecosistemico
Fornitura di acqua potabile
REGIONE LOMBARDIA



Mappa Servizio Ecosistemico
Fornitura di acqua potabile
CITTÀ METROPOLITANA DI MILANO



Negli ultimi decenni la crisi climatica da un lato ed il cambiamento dell'uso e copertura del suolo dall'altro hanno influenzato la capacità degli ecosistemi forestali ed acquatici di fornire questo servizio alla collettività. La ridotta e/o mancata fornitura di questo servizio determina rischi per la sicurezza e la salute delle persone.

QUANTIFICAZIONE BIOFISICA

estensione dell'ecosistema considerato
Superficie occupata da diverse coperture del suolo (ha): boschi di latifoglie; boschi di conifere; boschi misti di latifoglie e conifere; ghiacciai e nevi perenni; corsi d'acqua, canali e idrovie; bacini d'acqua
coefficienti utilizzati per la stima
coefficienti biofisici relativi a coperture del suolo diverse: boschi di latifoglie, conifere, misti; ghiacciai, corsi d'acqua, bacini d'acqua (m³/ha/anno)
Offerta (m³/anno)=
 $\Sigma \text{coeff. biof} \times \text{Sup}$



REGIONE LOMBARDIA
fornitura

1.170.886.473 m³/anno



CITTÀ METROPOLITANA DI MILANO
fornitura

27.040.994 m³/anno

QUANTIFICAZIONE ECONOMICA

coefficienti utilizzati per la stima
tariffa del servizio idrico applicato dalla Città Metropolitana di Milano (€/m³)
1,06 €/m³
Valore economico (€/anno)=
Offerta x
prezzo acqua



REGIONE LOMBARDIA
valore economico

1.241.139.662 (€/anno)



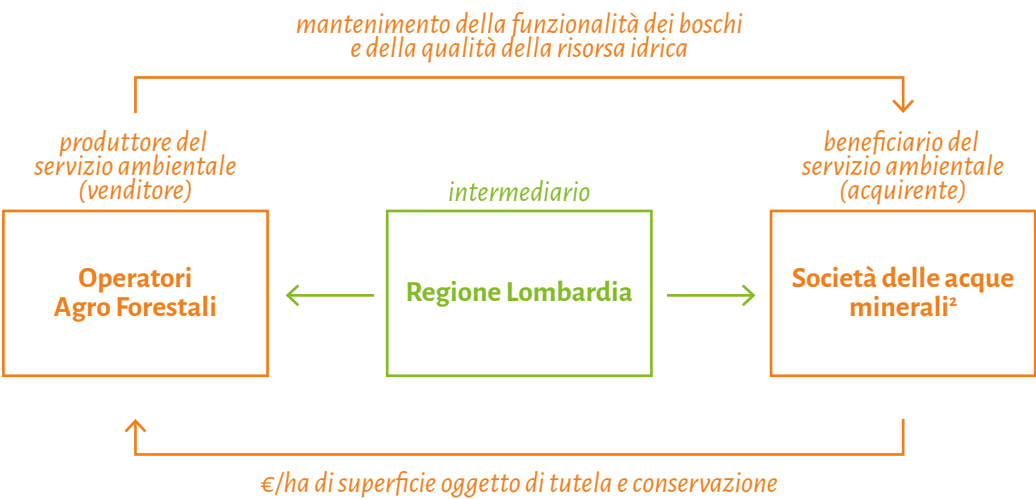
CITTÀ METROPOLITANA DI MILANO
valore economico

28.663.454 (€/anno)

IPOTESI DI PES PER IL SERVIZIO ECOSISTEMICO
FORNITURA ACQUA POTABILE

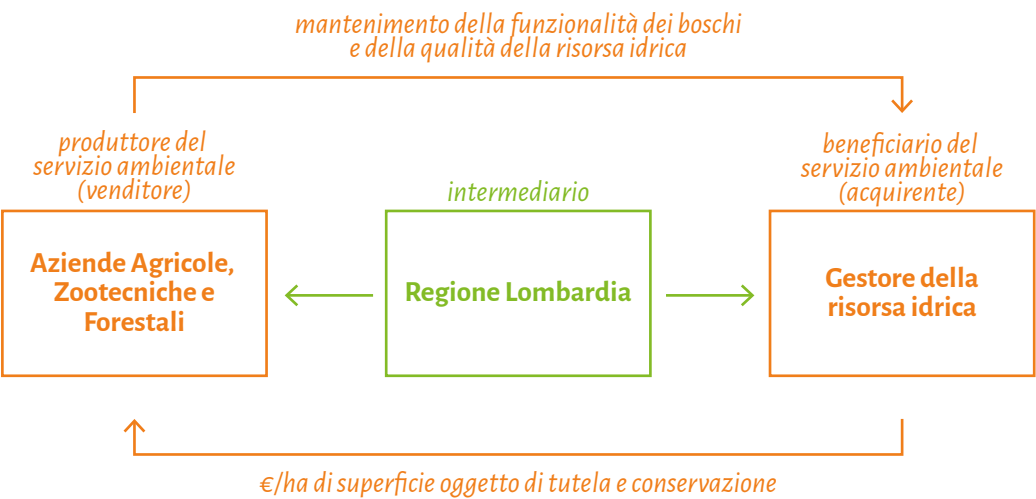
prima ipotesi (privato - privato)

Nel 2020 la Regione Lombardia ha dato in concessione 4.711 ettari di superficie in concessione ad aziende per l’imbottigliamento delle acque minerali per un prelievo annuo di 3.642.453,79 m³/anno. Tale concessione produce un introito di 4.235.988 €/anno¹. La proposta di accordo prevede un contratto tra gli operatori agricoli e forestali che rientrano nel bacino di captazione delle acque, per la realizzazione di interventi specifici per la conservazione della risorsa idrica, prevalentemente attraverso azioni che garantiscano l’ottimale gestione della copertura forestale. Le società delle acque minerali sul territorio potrebbero corrispondere un compenso agli agricoltori in funzione della superficie forestale tutelata e conservata.



seconda ipotesi (pubblico - privato)

Il gestore della risorsa idrica corrisponde un compenso agli agricoltori per il mantenimento degli ecosistemi forestali nel bacino di captazione. La compensazione potrebbe derivare da un’addizionale sulla tariffa idrica o da risorse pubbliche ad hoc.



1. Fonte: <https://www.regione.lombardia.it/wps/wcm/connect/8ac4db3d-66d9-4a3a-9e2f-689f5e0b0166/riepilogo-2020-introiti-canoni-acque-minerali-termali.pdf?MOD=AJPERES&CACHEID=ROOTWORKSPACE-8ac4db3d-66d9-4a3a-9e2f-689f5e0b0166-078K-ri>

2. Acquafrisia S.r.l. S.B., Ferrarelle S.p.A., Tavina S.p.A., Maniva S.p.A., Bracca Acque Minerali S.p.A., Acque Minerali Val Menaggio S.r.l., Fonti di Gaverina S.p.A., Fonti Pineta S.p.A., Hydraqua, Sanpellegrino S.p.A. Nestlé, Tavina S.p.A., Gruppo Refresco - Spumador, Fonti Prealpi S.p.A., Acqua Minerale Stella Alpina S.r.l., Maniva S.p.A., Wami S.r.l.

INQUADRAMENTO DEL SETTORE AGRO- ZOOTECNICO LOMBARDO

Si riporta di seguito una sintesi dei dati più significativi dell'agricoltura lombarda. Dove non diversamente specificato, i dati derivano da Il Sistema Agroalimentare della Lombardia - Rapporto 2021 (Pretolani, 2022a).

DATI GENERALI

(PSR 2014-2020)

- Superficie: 23.864 km2 (quarta regione per estensione superficiale), 7,9% del territorio nazionale
- Popolazione residente: 9.965.046 unità¹ (1° gennaio 2022), 16,9% della popolazione nazionale
- Comuni: 1.531

Caratteristiche del territorio

- Pianura: 47,13% del territorio regionale, 48,92% dei comuni
- Montagna: 40,44% del territorio regionale, 30,31% dei comuni
- Collina: 12,44% del territorio regionale, 20,77% dei comuni

DIMENSIONE ECONOMICA DEL SISTEMA AGRICOLO

La Lombardia è tra le regioni più significative nel panorama europeo, prima regione agricola d'Italia.

Nel 2020, rispetto al dato nazionale, la Lombardia rappresenta:

- 13,9% della PPB (produzione ai prezzi di base): 7,8 miliardi di euro
- 12,1% del VAPB (valore aggiunto agricolo ai prezzi di base): 3,6 miliardi di euro

Tab 1. Ripartizione della PPB dell'agricoltura lombarda e italiana nel 2020 a prezzi correnti (milioni di euro) e valore aggiunto complessivo

Fonte: Pretolani, 2022a

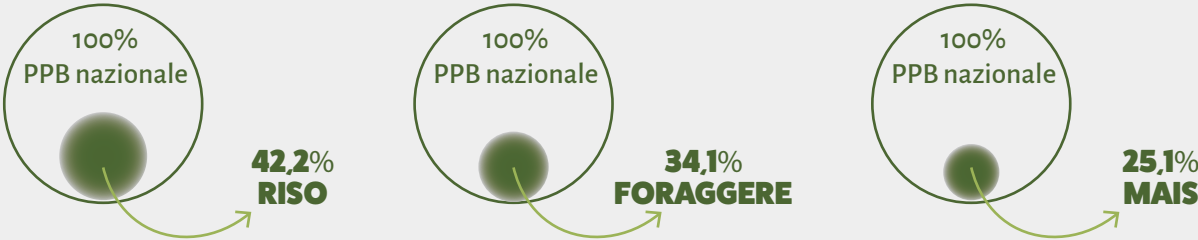
1 Istat, <http://dati.istat.it/Index.aspx?QueryId=18548>

	Lombardia		Italia		Lombardia /Italia
	milioni di euro	%	milioni di euro	%	%
Coltivazioni agricole (A)	2.193	28,3	29.463	52,9	7,4
ERBACEE	1.138	14,7	15.037	27,0	7,6
Cereali	578	7,5	4.058	7,3	14,2
Frumento tenero	57	0,7	504	0,9	11,2
Riso	137	1,8	326	0,6	42,2
Granoturco ibrido	323	4,2	1.285	2,3	25,1
Legumi secchi	21	0,3	174	0,3	11,9
Patate e ortaggi	389	5,0	8.908	16,0	4,4
Patate	9	0,1	740	1,3	1,2
Pomodori	94	1,2	1.272	2,3	7,4
Poponi o meloni	68	0,9	362	0,6	18,9
Industriali	59	0,8	666	1,2	8,9
Barbabietola da zucchero	4	0,1	71	0,1	6,0
Soia	49	0,6	290	0,5	16,8
Fiori e piante da vaso	91	1,2	1.231	2,2	7,4
FORAGGERE	579	7,5	1,7	3,1	34,1
LEGNOSE	475	6,1	12.726	22,8	3,7
Prodotti vitivinicoli	295	3,8	5.729	10,3	5,1
Prodotti dell'olivicoltura	1	0	1.34	2,4	0,1
Agrumi	-	0	1.041	1,9	0
Frutta	38	0,5	3.197	5,7	1,2
Altre legnose	141	1,8	1.42	2,5	10
Allevamenti (B)	4.356	56,1	16.016	28,7	27,2
PRODOTTI ZOOTECNICI ALIMENTARI	4.356	56,1	16.005	28,7	27,2
Carni	2.251	29	9.223	16,5	24,4
Carni bovine	650	8,4	2.798	5,0	23,2
Carni suine	1.084	14	2.775	5,0	39,0
Carni ovicaprine	2	0	157	0,3	1,4
Pollame	440	5,7	2.668	4,8	16,5
Latte	1.858	23,9	5.249	9,4	35,4
Latte di vacca e bufala	1.854	23,9	4.738	8,5	39,1
Uova	239	3,1	1.463	2,6	16,4
Miele	8	0,1	70	0,1	10,8
PRODOTTI ZOOTECNICI NON ALIMENTARI	0	0	11	0,0	2,5
Servizi connessi (C)	579	7,5	6.796	12,2	8,5
Totale produzione beni e servizi agricoli (D=A+B+C)	7.128	91,8	52.275	93,8	13,6
(+) attività secondarie (agriturismo, trasformazione) (E)	698	9	4.399	7,9	15,9
(-) attività secondarie (imprese commerciali) (F)	-65	-0,8	-933	-1,7	7,0
Totale produzione branca agricoltura (G=D+E+F)	7.761	100	55.74	100	13,9
(-) Consumi intermedi (H)	4.135	53,3	25.727	46,2	16,1
Valore aggiunto ai prezzi di base (I=G-H)	3.626	46,7	30.013	53,8	12,1



PRINCIPALI COLTIVAZIONI

(% rispetto al dato nazionale
in termini di PPB)



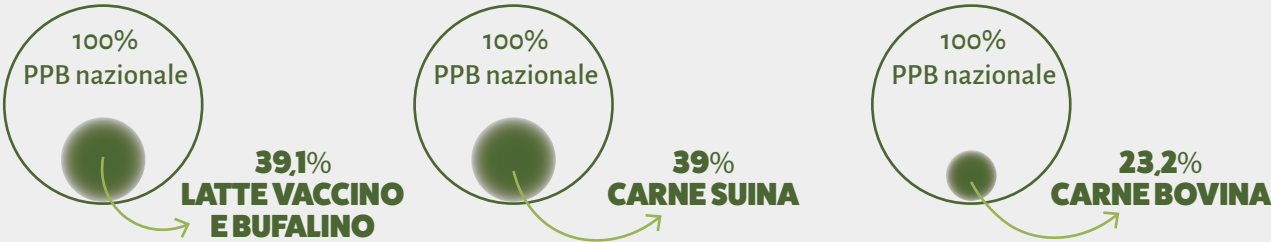
60% PPB DELLA LOMBARDIA

**VOCAZIONE
CEREALICOLO-ZOOTECNICA
DELLA REGIONE**



PRINCIPALI ALLEVAMENTI

(% rispetto al dato nazionale
in termini di PPB)



Nel 2020 la produzione ai prezzi di base (PPB) è così divisa:

- 56,1%* = allevamenti (il 27,2% a livello nazionale), di cui:
 - carni 51,7%**
 - latte 42,6%**
- 28,3%* = prodotti vegetali (il 7,4% a livello nazionale)

Il contributo delle provincie alla formazione della produzione regionale nel 2020 è schematizzato in tabella 2.

Tab. 2: Stima della PPB ai prezzi di base nelle provincie lombarde nel 2020
(milioni di euro)

Fonte: Pretolani, 2022a

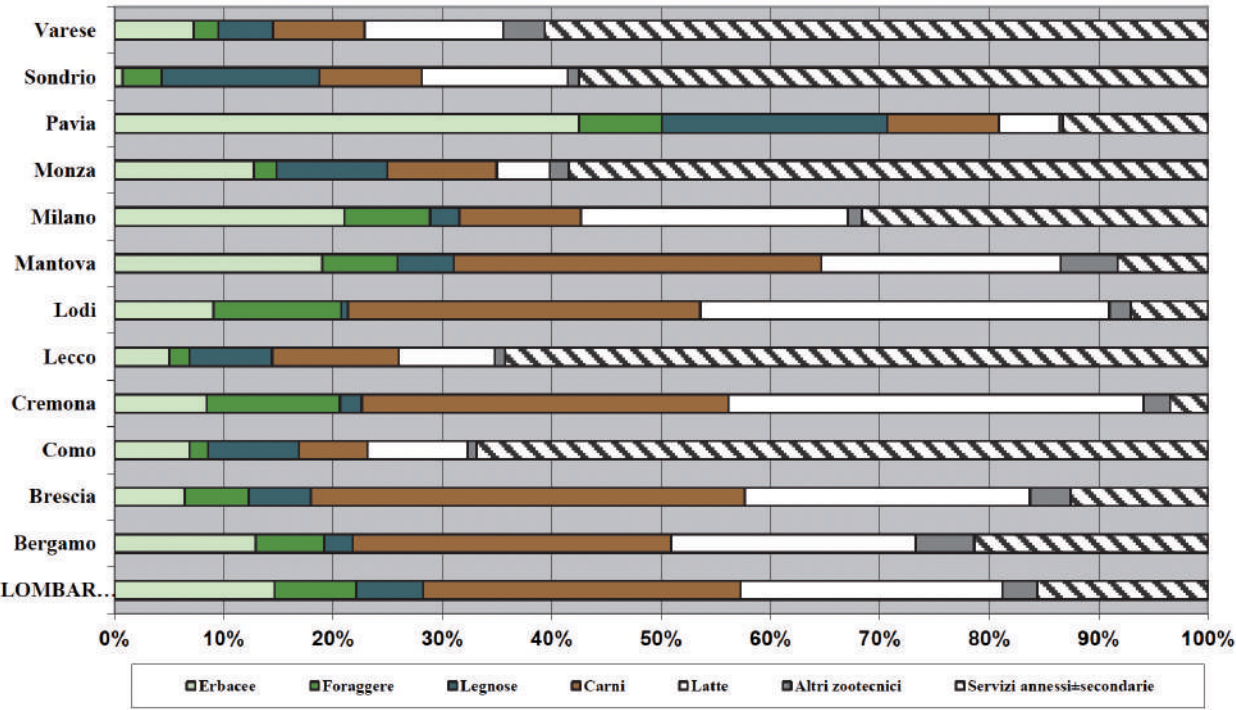
	LOMBARDIA	Bergamo	Brescia	Como	Cremona	Lecco	Lodi	Mantova	Milano	Monza	Pavia	Sondrio	Varese
Coltivazioni agricole	2193	140	356	25	279	14	96	490	141	23	585	27	18
Erbacee	1.138	83	127	10	104	5	41	301	94	12	352	1	9
Foraggiere	579	40	116	2	150	2	53	108	35	2	63	5	3
Legnose	475	17	112	12	24	8	3	81	12	9	171	20	6
Allevamenti	4.356	366	1.377	24	910	21	323	960	164	15	133	34	30
Carni	2.251	187	787	9	413	12	145	531	50	9	85	13	10
Latte	1.858	144	516	13	467	9	169	346	109	4	46	19	15
Altri zootecnici	247	34	75	1	30	1	9	82	6	2	3	1	5
Servizi annessi (+/-) secondarie	1.212	138	248	98	43	64	32	130	141	53	110	81	74
Totale produzione branca agricoltura	7.761	643	1.981	146	1.232	100	451	1.580	445	90	828	142	121
Consumi intermedi	4.135	417	1.020	62	739	39	264	712	270	35	459	59	58
Valore aggiunto ai prezzi di base	3.626	226	961	84	493	61	187	868	176	55	369	82	63
Totale produzione branca agricoltura	100.0%	8,3%	25,5%	1,9%	15,9%	1,3%	5,8%	20,4%	5,7%	1,2%	10,7%	1,8%	1,6%
Consumi intermedi	100.0%	10,1%	24,7%	1,5%	17,9%	0,9%	6,4%	17,2%	6,5%	0,8%	11,1%	1,4%	1,4%
Valore aggiunto ai prezzi di base	100.0%	6,2%	26,5%	2,3%	13,6%	1,7%	5,2%	23,9%	4,8%	1,5%	10,2%	2,3%	1,7%

2
*la differenza a 100 della somma delle due percentuali è rappresentata dai servizi

(+) e dalle attività secondarie (+/-)

**la differenza a 100 della somma delle due percentuali è rappresentata da uova e miele

Fig. 1: Distribuzione percentuale della PPB nelle province lombarde nel 2020
Fonte: elaborazione ESP di dati Istat



SUPERFICI AGRICOLE

La SAU principale (2021) è pari a 931.298 ha, il 39% della superficie regionale (23.864 km2). Per un maggiore dettaglio si veda la tabella 3.
La destinazione produttiva dei cereali è principalmente quella mangimistica per gli usi zootecnici, anche se è in crescita la destinazione energetica (PSR 2014-2020).

REDDITIVITÀ DELLE COLTIVAZIONI AGRICOLE

Si valuta confrontando la PPB³ a prezzi correnti (tab 1) con le superfici delle coltivazioni agricole (tab 3).
Nel 2020:

- le colture legnose agrarie hanno la redditività più alta per unità di superficie (21,7% della PPB vegetale con il 3,1% della SAU)
- seguono le colture erbacee (51,9% della PPB vegetale con il 35,8% della SAU)
- da ultimo le colture foraggiere (26,4% della PPB vegetale con il 59,2% della SAU).

.....
3 I valori della PPB sono calcolati al netto del Pagamento Unico Aziendale e incorporano unicamente i pochi premi rimasti accoppiati alla produzione.

Tab. 3: Le superfici investite dal sistema agricolo in Lombardia (valori in ha, anno 2021)
Fonte: Pretolani, 2022b

	2021
SAU PRINCIPALE STIMATA	931.298
SAU RIPETUTA STIMATA	123.328
SEMINATIVI (tutti i raccolti)	819.462
Cereali	326.991
Frumento tenero	56.123
Frumento duro	10.930
Orzo	20.068
Riso	97.801
Granoturco da granella	134.129
Altri cereali	7.940
Legumi secchi	5.453
Patate e ortaggi	19.528
Oleaginose	53.837
Prati avvicendati	86.563
Erba medica	72.205
Altri monofiti	3.227
Polifiti	11.131
Erbai	325.467
Mais ceroso	194.245
Altri monofiti	85.156
Polifiti	46.066
Terreni a riposo	11.443
FORAGGERE PERMANENTI	203.113
Prati permanenti	88.864
Pascoli	114.249
LEGNOSI AGRARIE	32.051
Vite	23.880
Olivo	2.402
Fruttiferi	5.769
Melo	1.652
Pero	800
Frutta a nocciolo	729

ZOOTECNIA

Tab. 4: Consistenza degli allevamenti in Lombardia⁴ (2021)
Fonte: Pretolani, 2022b

CONSISTENZA DEGLI ALLEVAMENTI IN LOMBARDIA - 2021	
	2021
Bovini allevamenti	13.031
Bovini da latte allevamenti	5.233
Bovini da carne allevamenti	7.793
Ovini e caprini allevamenti	10.739
Suini allevamenti	8.176
Bovini capi totali	1.546.688
in allevamenti da latte	1.101.135
- di cui vacche	549.763
in allevamenti da carne	445.553
- di cui vacche	54.659
Resa latte (kg/vacca/anno)	9.020
Bovini macellati	741.378
Ovini capi	113.580
Caprini capi	96.642
Suini capi	4.448.267
Suini macellati	5.447.714
Bovini consistenza media	118,7
Bovini da latte media	210,4
- vacche da latte consistenza media	105,1
Bovini da carne consistenza media	57,2
Ovini e caprini consistenza media	19,6
Suini consistenza media	544

4 Per confronti: La consistenza del patrimonio zootecnico ammontava nel 2010 a circa 2,74 milioni di UBA, cioè il 27,5% della consistenza nazionale ed il 2% di quella dell'UE-28, con un carico zootecnico con 2,8 UBA/ha di SAU (PSR RL 2014-2020, esteso al 2022).

CARATTERISTICHE DELLE AZIENDE AGRICOLE

Manodopera aziendale: 124.043 persone di cui 72.294 familiari ⁵ (Istat 2016)

Tab. 5: Dati strutturali e principali risultati economici, medie aziendali 2019
Fonte: Crea, 2021

	Italia	Lombardia
SAU(superficie agricola utilizzata)	18,5	22,5
UBA(unità di bestiame adulto)	12,9	56
UL(unità lavorative)	1,3	1,5
ULF(unità lavorative familiari)	1	1,3
RN(reddito netto)/RICAVI (%)	36	31
RN/HA	1.323	1.849
RN/UBA	1.899	742

L'AGRICOLTURA BIOLOGICA

(Sinab, 2020)
Superficie biologica totale (superficie biologica e in conversione), 2019:

- Italia: 1.993.236 ha (+1,8% rispetto al 2018), 15,8% della superficie agricola nazionale
- Lombardia: 56.557 ha (+5,1% rispetto al 2018), 5,9% della superficie agricola regionale

La superficie biologica lombarda è così suddivisa:

- 44% cereali
- 22% foraggiere
- 8% prati e pascoli (escluso il pascolo magro)
- 7% vite

I produttori biologici (2019) sono 1998, di cui 1.500 aziende agricole (produttori) + 498 aziende agricole che, oltre all'attività agricola, svolgono anche attività di preparazione (produttori/preparatori).

CITTÀ METROPOLITANA DI MILANO E COMUNE DI MILANO

I dati più di dettaglio ed aggiornati di cui si dispone sulle superfci agricole della Città Metropolitana di Milano e del Comune di Milano sono quelli estratti dal DUSAF (anno 2018). Nella tabella seguente sono accostati agli stessi dati per la Regione Lombardia.

5 dati.istat.it/Index.aspx?QueryId=31629

Tab. 6—superfici agricole in Regione Lombardia, Città Metropolitana e Comune di Milano (ha), anno 2018
Fonte: elaborazioni Està su dati DUSAF 2018

CLASSI DI USO E COPERTURA DEL SUOLO	Regione Lombardia		Città Metropolitana di Milano		Milano	
	ha	%	ha	%	ha	%
Seminativi semplici	665.334	68%	50.593	67,70%	2.102	57,40%
Seminativi arborati	3.630	0%	417	0,60%	16	0,40%
Colture orticole a pieno campo	20.520	2%	987	1,30%	18	0,50%
Colture orticole protette	3.104	0%	115	0,20%	1	0,00%
Colture floro-vivaistiche a pieno campo	5.040	1%	412	0,60%	45	1,20%
Colture floro-vivaistiche protette	674	0%	64	0,10%	5	0,10%
Orti familiari	1.800	0%	631	19,30%	138	3,80%
Risaie	99.136	10%	14.439	19,30%	1.083	29,60%
Vigneti	27.384	3%	8	0,00%	0	0,00%
Frutteti e frutti minori	5.899	1%	104	0,10%	4	0,10%
Oliveti	3.185	0%	1	0,00%	0	0,00%
Prati permanenti in assenza di specie arboree ed arbustive	119.445	12%	6.850	9,20%	233	6,40%
Prati permanenti con presenza di specie arboree ed arbustive sparse	19.768	2%	131	0,20%	15	0,40%
Marcite	142	0%	0	0,00%	0	0,00%
TOTALE	975.060,07	100%	74.749,95	100%	3.661	100,00%

Città Metropolitana di Milano

Dati generali

- Superficie: 1.575 km²
- Popolazione residente (1° gennaio 2022): 3.237. 101⁶ (32,5% della popolazione regionale lombarda)
- Comuni: 134

Agricoltura

Agricoltura ad elevata produttività e tecnologicamente avanzata, concentrata nel territorio del “Sud Milano”, una semiluna che abbraccia la metropoli da ovest a est e che coincide in gran parte con il Parco Agricolo Sud Milano, tra i più grandi parchi agricoli europei. Il Parco è una realtà ormai storica del territorio milanese che ha difeso lo spazio agricolo rispetto all’espansione urbana a partire dalla sua fondazione con un percorso integrato tra agricoltori e associazioni.

Dimensione economica del sistema agricolo

Nel 2020, rispetto al dato lombardo, la Città Metropolitana rappresenta (tab 2):

- 5,7% della PPB (produzione ai prezzi di base): 445 milioni di euro
- 4,8% del VAPB (valore aggiunto agricolo ai prezzi di base): 176 milioni di euro

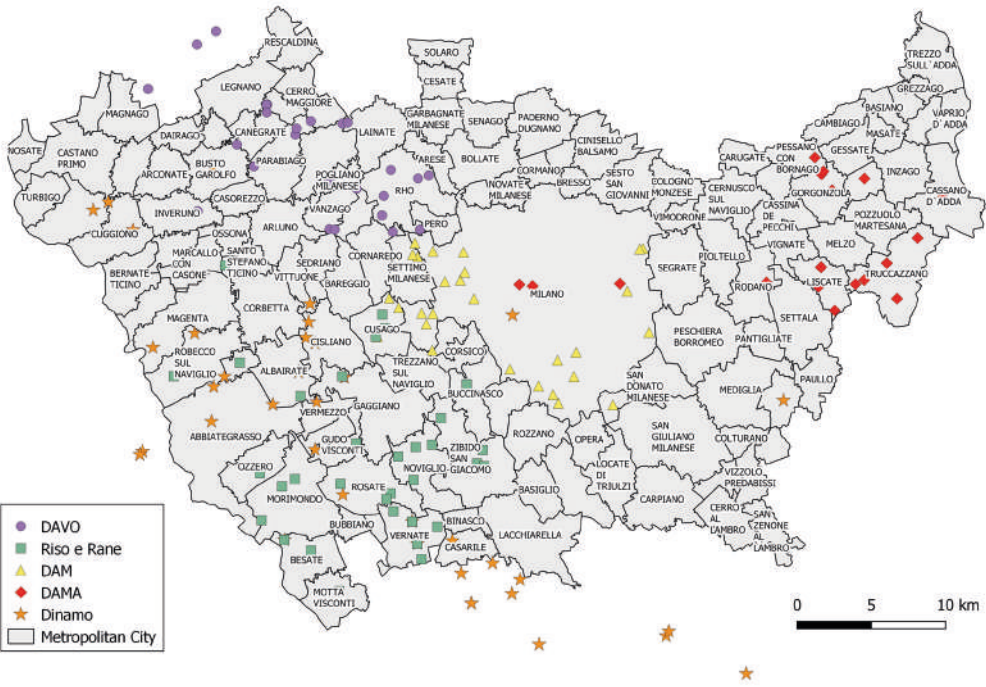
Nel 2020 la produzione ai prezzi di base (PPB) è così divisa:

- 36,8%*7 = allevamenti (il 3,8% a livello regionale), di cui:
 - carni 30,5%**
 - latte 66,4%**
- 31,7%* = prodotti vegetali (il 6,4% a livello regionale)

I Distretti Agricoli del milanese (Città Metropolitana di Milano)

I Distretti Agricoli sono forme organizzate di collaborazione tra aziende agricole e aziende attive in altri campi; hanno la finalità di potenziare la attività delle aziende che li costituiscono e valorizzare una filiera, un prodotto, un territorio. Nel territorio metropolitano milanese sono presenti 5 Distretti (tab 7).

Fig 2: Mappa delle aziende agricole afferenti ai Distretti Agricoli milanesi, suddivise per Comune di appartenenza
Fonte: Bini, Zanolin, 2020



7 *la differenza a 100 della somma delle due percentuali è rappresentata dai servizi (+) e dalle attività secondarie (+/-)

**la differenza a 100 della somma delle due percentuali è rappresentata da altri zootecnici

6 www.istat.it/it/popolazione-e-famiglie?dati

Tab 7 - Quadro dei Distretti agricoli milanesi (2021)
Fonti: Elaborazioni dai Piani di Distretto e altre fonti⁸ di letteratura grigia

Nome/anno di costituzione	Aziende agricole (numero)	Superficie (ha)	Area e caratteristiche	Colture
DAM Consorzio Distretto Agricolo rurale Milanese 2011	34	ca 1.500 (ca. il 40% del territorio agricolo del Comune di MI)	Comune di MI (+ 3 aziende a Cusago, 1 a Settimo M., 1 a Cesano Boscone, 1 a San Donato M., 1 a Mediglia) Territorio periurbano Agricoltura perlopiù convenzionale	Riso (prevalentemente; 62 % del riso a MI è coltivato da aziende DAM): 10.000 t/anno Mais: 5.000 t/anno Latte: 2.000 t/anno Orticole (anche bio) Carne, florovivaismo
DAVO Distretto Agricolo Valle Olona 2012	39	ca 1.500	Città Metropolitana di Mi - Nord Ovest e Sud e prov VA Valle del Fiume Olona	Latte, Formaggi, Piante, Uova, Frutta, Cereali, Patate, altri prodotti
RISO E RANE Distretto Rurale Riso&Rane 2011	37	ca 5.000 (di cui 4000 ha coltivatia riso; circa il 60% delle superfici coltivate a riso della Città Metropolitana di MI sono nel Distretto)	Città Metropolitana MI (Sud-Ovest) Valle del Ticino 2 Parchi interessati (PASM e Parco Ticino)	20-25.000 tonn/year
DINAMO Distretto neorurale delle tre acque di Milano 2012-2013	36	2.481 (SAU) di cui 598 coltivati a seminativi, 1.078 a riso e 744 a boschi	Territorio compreso tra Ticino, Canale Villoresi e Naviglio Pavese (Prov MI, PV, VA, NO) 3 Parchi interessati: Agricolo Sud Milano, Lombardo del Ticino, Piemontese del Ticino	Riso Ortofrutta Birra, Carni Bovine e Suine, altri cereali (mais, grano), miele, erbe officinali
DAMA Distretto Agricolo Adda Martesana 2017	25	ca 1.300 (SAU)	Area Est della Città Metropolitana di MI Canale Villoresi e Naviglio Martesana	Riso, mais, grano Latte e Carni (vocazione prevalente) Orticole, Formaggi

I DATI DEL PARCO AGRICOLO SUD MILANO¹

Comuni: 60
Comune di Milano: quasi 9% della superficie totale del PASM (4.226 ha)
Superficie totale: 47.000 ha (circa il 30% della Città Metropolitana milanese)
Aziende agricole con terreni all'interno del perimetro del Parco: circa 900
Superficie media delle aziende: 48 ha
SAU (2019): 36.626 ha

- riso 31,5%
- mais 31,4%
- foraggiere 16,2%
- colture industriali e legumi secchi 8,3%
- altre coltivazioni agrarie 8,2%
- terreni a riposo 1,6%
- orticole 1,1%
- sementi 1,0%
- colture florovivaistiche 0,4%
- frutticole e legnose agrarie 0,2%

Allevamenti: oltre 360 allevamenti

- 65% bovini e quasi tutti orientati alla produzione di latte.
- notevole presenza di altri capi allevati ed aziende specializzate nell'allevamento equino (35), suinicolo (30) e di avicoli (30)

Aziende agrituristiche: 33
Aziende con Marchio del Parco: 29
Aziende con vendita diretta di prodotti: circa 40
Aziende con attività didattiche: 30
Marcite: 208 ha
Fontanili attivi: 254
Siepi, filari e fasce alberate: circa 866 km

¹ I dati del PASM derivano dal sito www.cittametropolitana.mi.it/parco_agricolo_sud_milano/ e dallo studio “L’istituzione di aree a parco naturale all’interno del Parco Agricolo Sud Milano. Aspetti socio-economici”

⁸ www.comune.milano.it/aree-tematiche/verde/milano-metropoli-rurale/i-distretti-agricoli-di-milano; docplayer.it/9416694-II-distretto-agricolo-milanese.html; www.researchgate.net/publication/348311113_I_distretti_agricoli_milanesi_dei_laboratori_di_paesaggio_alimentare/link/5ff799bfa6fdccdb83b4f98/download; agroecologia.acra.it/12-passi-verso-lagroecologia/acqua-ed-agroecologia-il-ruolo-dei-distretti-agricoli-milanesi/; ecomuseo.comune.parabiago.mi.it/ecomuseo/cariplo/pattofornitura/patto_fornitura_23_3_16.pdf; ecomuseo.comune.parabiago.mi.it/ecomuseo/deco1.html; http://antares.crea.gov.it:8080/documents/10179/76156/monitoraggio_distretti_agricoli_INEA_def.pdf , Bini (2020)

L'Accordo Quadro di Sviluppo Rurale (AQST) Milano Metropoli Rurale

Nel 2012-2015 quattro distretti (DAM, DAVO, DINAMO e Riso&Rane), il Comune di Milano, la Città Metropolitana di Milano, la Regione Lombardia hanno sottoscritto un Accordo Quadro di Sviluppo Territoriale (AQST) denominato “Milano Metropoli Rurale”⁹ con l’obiettivo di valorizzare le matrici rurali del territorio metropolitano milanese, promuovendone l’economia e la qualità del contesto territoriale in un’ottica di sostenibilità e di ricostruzione dei rapporti città-campagna. Al partenariato si sono poi aggiunti il Consorzio Fiume Olona, il Consorzio Est Ticino Villoresi e il Distretto Agricolo DAMA.

Per quanto riguarda gli scenari futuri, gli obiettivi ambientali per l’agricoltura dei Distretti - possibili al 2030 mantenendo il valore della produttività agricola attuale – sono (Lassini, 2019):

- Riduzione delle emissioni: - 20%
- Incremento della sostanza organica nel terreno: +0,5% (pari a 5,6 Mt CO₂ eq, ovvero alle emissioni di un anno di 860.000 abitanti eq)
- Incremento della biodiversità del 20%
- Recupero multifunzionale di 50 fontanili in rete

COMUNE DI MILANO

Dati generali

- Superficie: 181,8 km²
- Popolazione residente (al primo gennaio 2022): 1.386.285¹⁰ persone

Sistema agricolo del Comune di Milano

(Elaborazioni EStà da fonti varie)
Gran parte delle superfici agricole è localizzata nei quadranti ovest/sudovest ed est del perimetro cittadino (perlopiù dove si situano le aree interessate dalla presenza del Parco Agricolo Sud Milano).

La SAU (Lucini, 2020) è pari a 2.800 ha (2020) e costituisce il 15% della superficie comunale (181,8 km2).

- Ottocento ettari sono di proprietà del comune di Milano, affidati in affittanza agraria a 56 aziende agricole (2020).
- Delle circa 60 cascine di proprietà comunale, 12 sono ancora attive in ambito agricolo.

Le produzioni più diffuse riguardano prodotti come riso, grano e mais, latte¹¹.

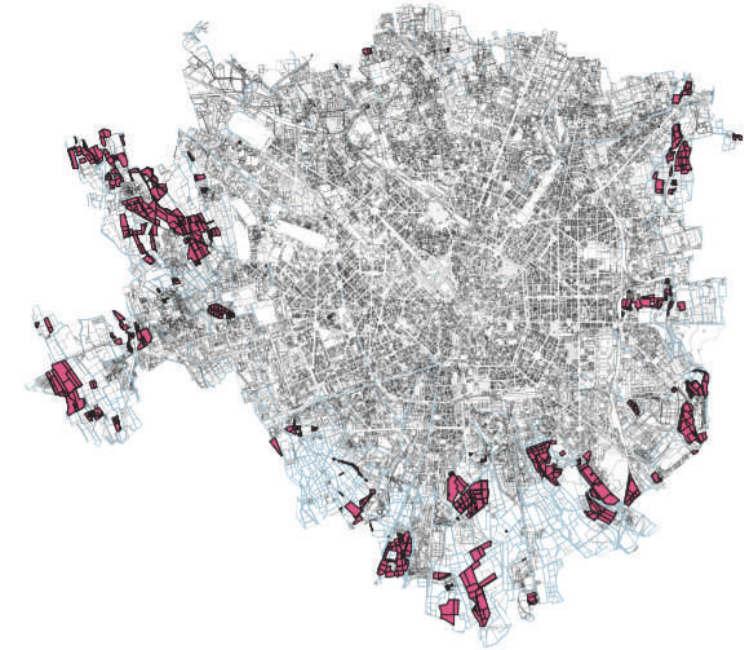
.....
9 www.milanometropolirurale.regione.lombardia.it/wps/portal/site/milanometropolirurale
10 www.istat.it/it/popolazione-e-famiglie?dati
11 www.comune.milano.it/aree-tematiche/verde/milano-metropoli-rurale/statistiche-agricoltura#:~:text=La%20produzione%20agricola%20nel%20Comune,siano%20destinati%203.225%20mq.

Sono presenti 109 aziende agricole Gli agriturismi riconosciuti a livello regionale sono 8 (2021), le fattorie didattiche 2 (2021).

Fig.3 Le aree agricole nel Comune di Milano
Fonte: Ufficio Agricoltura, Comune di Milano, 2020



Fig.4 Le aree agricole di proprietà del Comune di Milano
Fonte: Ufficio Agricoltura, Comune di Milano, 2020



INQUADRAMENTO SULLO STATO DELLE FORESTE

Gli ecosistemi forestali sono quelle aree dominate da alberi e costituite da comunità biologicamente integrate di piante, animali e microrganismi, che variano per età, composizione delle specie, struttura, funzione e tempo dall'interferenza (se presente). Poiché un ecosistema forestale è un sistema biofisico integrato, una foresta è tanto un insieme di processi ecosistemici quanto un insieme di componenti biotici e abiotici.

Tradizionalmente, sono state una fonte di legname e sono ancora gestite al fine di massimizzare la fornitura di biomassa legnosa, spesso a scapito di altri servizi ecosistemici. Dalla pubblicazione del Millennium Ecosystem Assessment (MEA, 2005), i servizi ecosistemici forniti dalle foreste - quali i prodotti legnosi, non legnosi (come resine, frutti di bosco e funghi), la mitigazione e l'adattamento ai cambiamenti climatici, la regolazione dei regimi idrologici e del ciclo dei nutrienti (come azoto e fosforo), il sostegno alla produttività agricola, la riduzione dell'erosione, l'aumento dell'habitat della fauna selvatica, i servizi ricreativi e i benefici relazionali, come il benessere mentale e i valori culturali e spirituali - stanno acquistando un crescente riconoscimento e attenzione da parte dell'industria, dei governi e delle istituzioni internazionali, dei media e dei cittadini. Questi soggetti ed entità sono sempre più consapevoli dei costi diretti e dei benefici mancati derivanti dal degrado o dalla perdita dei servizi dell'ecosistema forestale. In effetti, la perdita e il degrado delle foreste possono avere impatti locali, come inondazioni, smottamenti e frane, o impatti più ampi, come il cambiamento climatico globale, a loro volta fattori di impatti a scala locale. Ciò sta creando la prospettiva che considerevoli risorse finanziarie diventino disponibili per la protezione e la conservazione delle foreste, con potenziali impatti positivi su occupazione e redditi. Nonostante ciò, i tassi di deforestazione globale e di degrado forestale rimangono allarmanti (FAO, 2020) e si stima che solo il 22% della copertura forestale originaria del mondo sia rimasta intatta. Inoltre, sebbene nelle nazioni industrializzate la copertura forestale si sia espansa negli ultimi decenni, ampie porzioni di questi ecosistemi forestali sono fortemente degradate, poiché sono soggetti a stress biotici e abiotici più intensi e frequenti, come sfruttamento eccessivo, incendi, inquinamento ambientale, introduzione di specie alloctone invasive, frammentazione ed effetti del cambiamento climatico (FAO, 2020). Sia l'estensione sia la qualità degli habitat forestali continuano a diminuire e la conseguente perdita di biodiversità ne compromette il loro

funzionamento e la capacità delle foreste di fornire servizi ecosistemici. Da un punto di vista economico le foreste continuano ad avere una grande incidenza sui PIL nazionali, in particolare nei Paesi equatoriali, ricchi di risorse forestali e senza settori industriali o del terziario particolarmente sviluppati. Anche nei Paesi più industrializzati, però, come Unione Europea o Stati Uniti, il settore forestale con le filiere del legno e della carta, contribuisce in maniera significativa al PIL e alla generazione di occupazione, con interessanti prospettive anche nell'utilizzo futuro del legname come risorsa rinnovabile sia nel settore energetico che in quello delle costruzioni.

LO STATO DELLE FORESTE, DALLA SCALA MONDIALE ALLA SCALA LOCALE

Scala mondiale

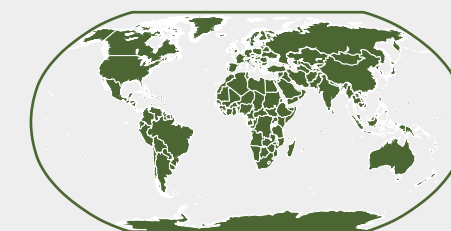
Secondo il Global Forest Resources Assessment 2020 della FAO, al mondo esistono 4,06 miliardi di ettari di foreste, corrispondenti circa al 31% delle terre emerse. La maggior parte di queste si concentrano nelle aree tropicali (45%) e in quelle boreali (27%).

Il trend delle superfici forestali globali è molto negativo quantomeno a partire dall'epoca industriale; negli ultimi trent'anni, a partire dal 1990, la perdita netta è stata di 178 milioni di ettari. Attualmente la porzione di foreste distrutte annualmente sembra essere in riduzione: si è passati da una media di 7,8 milioni di ettari all'anno nel periodo 1990-2000 a 5,2 milioni di ettari nel 2000-2010 e a 4,7 nel 2010-2020.

La rigenerazione è per il 93% circa di carattere spontaneo e solo il 7% deriva da impianti antropici. Le foreste primarie, ovvero quelle composte da specie autoctone e dove non sono visibili i segni dello sfruttamento antropico, coprono circa 1,1 miliardi di ettari; i restanti 3 sono composti da foreste secondarie o gestite, ovvero boschi in cui si effettuano prelievi o ricresciuti su aree precedentemente utilizzate dall'uomo.

Come conseguenza di questo processo di deforestazione si è anche verificato il netto calo di biomassa totale e quindi di carbonio stoccato, passato da 668 gigatonnellate stimate nel 1990 a 662 nel 2020. Di questo il 44% è contenuto nella biomassa viva delle piante e il 45% nella sostanza organica del suolo. Il restante 1% è rappresentato da lettiera e legno morto al suolo (FAO, 2020).

SCALA MONDIALE



2020
4,1 MILIARDI di ha

31% delle terre emerse



3 MILIARDI DI HA
DI FORESTE SECONDARIE
O GESTITE

+ 1,1 MILIARDI DI FORESTE
PRIMARIE



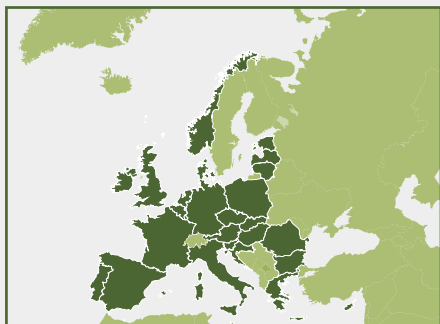
Dal 1990
- 178 MILIONI di ha
DI FORESTA

(tassi di distruzione in diminuzione)

662 Gt di
CARBONIO STOCCATO
(2020)

(668 Gt nel 1990)

SCALA EUROPEA



2020
EU27

180 MILIONI di ha
45% della superficie totale



**FORESTE QUASI
INTERAMENTE
SECONDARIE O GESTITE**



Dal 1990
**+ 10,2 MILIONI di ha
DI FORESTA**

Dal 2013
**ASSORBIMENTI DIMINUITI
di 12 Mt di CO₂ eq/anno**

FILIERA
**490 MILIONI DI M³
DI TONDAME
(2018)**
**511 MILA ADDETTI
(2018)**
**26,2 MILIARDI DI EURO
DI VALORE AGGIUNTO LORDO
(2017)**

Scala europea

Secondo Eurostat (Eurostat, 2020), il territorio dell'Unione Europea a 27 (UE27) coperto da foreste è pari a 180 milioni di ettari, corrispondenti al 45,1% della superficie totale (una percentuale nettamente superiore alla media globale, pari al 31%). Il trend relativo alle superfici forestali nell'ultimo trentennio è leggermente positivo e, soprattutto, arriva da un'espansione ben più sostenuta verificatasi durante tutto il '900. Tra 1990 e 2020 l'incremento è stato pari a circa 10,2 milioni di ettari. Non molto, e in rallentamento rispetto ai periodi precedenti, ma tuttavia sufficiente a mantenere la tendenza dell'estensione delle foreste dell'UE con il segno positivo. In prospettiva è difficile immaginare una ripresa vigorosa dell'espansione forestale, sia per la quota di territorio già occupata da foreste e altre tipologie di formazioni forestali, sia perché il continente, soprattutto nelle aree di pianura, è densamente popolato, antropizzato e coltivato. Le foreste europee sono quasi completamente secondarie o gestite. I lembi di foresta primaria sono riscontrabili solo in alcune aree dell'est Europa, ma del tutto marginali (Eurostat, 2020).

Il peso economico del settore del legno in Europa è limitato ma in crescita: nella UE27 il valore aggiunto lordo (differenza tra la produzione ai prezzi di base e i costi intermedi) nel 2017 è pari a 26,2 miliardi di euro. Oltre la metà di questo valore è prodotto dalle filiere di Svezia, Finlandia, Germania e Francia, ciascuno con poco più di 3 miliardi di euro prodotti. I lavoratori della filiera del legno sono 511.000 nel 2018, concentrati soprattutto in Polonia, Romania, Svezia e Germania. La produzione di tondame ammonta a 489,8 milioni di m³ nel 2018 (+21% rispetto al 2000), tre quinti dei quali provenienti da conifere. Due terzi di questa produzione proviene da Svezia, Finlandia, Polonia, Germania e Francia. La maggior parte dei Paesi europei vede una maggiore quota della produzione destinata a utilizzi industriali, in Italia invece una quota maggioritaria è destinata ad uso energetico (Eurostat, 2020).

Nella Comunicazione sui cicli di carbonio sostenibili della EU si afferma che dal 2013 circa gli assorbimenti annui nei terreni forestali diminuiscono di oltre 12 Mt CO₂eq l'anno, una tendenza emersa, in modo più o meno marcato, in diverse regioni dell'UE (Eurostat, 2020).

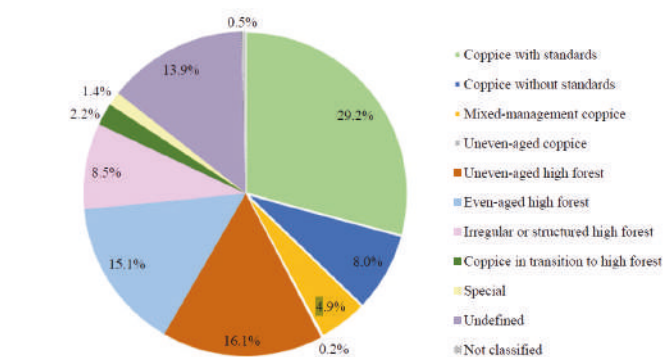
Scala nazionale (Italia)

L'evoluzione delle foreste in Italia nell'ultimo secolo registra un segno positivo. Paragonando il primo rilevamento a scala nazionale effettuato dalla milizia forestale del Regno d'Italia nel 1936 (pari a 6.028.301 ha) con i dati del Terzo Inventario Nazionale Forestale del 2015 (pari a 11.054.458 di ha) si riscontra una crescita consistente delle superfici forestali (+84,3%) e del coefficiente di boscosità del territorio italiano (dal 20% al 36,9%). Gli oltre 11 milioni di ha sono suddivisi in circa 9 milioni di ha di bosco e 2 milioni di ettari di altre terre boscate¹ (Pompei, 2017; INCF, 2015). Questa espansione è quasi interamente derivata da processi naturali di afforestazione e riforestazione, ovvero dall'avanzata spontanea degli arbusteti e dei boschi in particolare nelle aree montane e collinari abbandonate degli Appennini e delle Alpi, un tempo dedicate alle attività agricole e all'allevamento. L'espansione delle foreste, connessa strettamente all'evoluzione socio-economica del Paese e all'attrattività dei poli industriali urbani nei confronti delle aree periferiche, è molto polarizzata dal punto di vista territoriale: se da un lato la montagna diviene sempre più boscosa, con problemi addirittura di conservazione della biodiversità legata ai pascoli e ai prati, sempre più minacciata dall'avanzare della vegetazione arborea, dall'altro la pianura e le zone costiere (queste particolarmente soggette alle conseguenze del cambiamento climatico) sono sempre più antropizzate e densamente popolate, ove le foreste sono quindi residuali. Inoltre, l'avvento della meccanizzazione in agricoltura, in particolare nelle grandi estensioni pianeggianti delle colture cerealicole, ha condotto all'eliminazione anche di quei boschetti marginali, siepi e filari, aree di naturalità, che ancora nell'immediato dopoguerra caratterizzavano anche la Pianura Padana, conducendo presto intere province ad una vera e propria desertificazione agricola.

Gestione del patrimonio forestale

Fig. 1: Ripartizione percentuale della superficie dei Boschi alti per tipo colturale, a livello nazionale

Fonte: Italian National Forest Inventory—Methods and Results of the Third Survey (Gasparini, 2022)



1 Le "altre terre boscate" rappresentano un territorio con copertura arborea del 5-10% di alberi in grado di raggiungere un'altezza minima di 5 m a maturità in situ oppure un territorio con una copertura maggiore del 10% costituita da alberi che non raggiungono un'altezza di 5 m a maturità in situ o da arbusti e cespugli.

SCALA NAZIONALE



2015
**11 MILIONI di ha
DI FORESTA**



**9 MILIONI di ha
DI BOSCO**
+
**2 MILIONI di ha
DI ALTRE TERRE BOSCATI**



Dal 1836
+84%
**PER AFFORESTAZIONE/
RIFORESTAZIONE
DI TERRITORI
MONTANI/COLLINARI**

GESTIONE



42,3% A CEDUO
(caducifoglie)
FILIERA ENERGETICA

39,7% A FUSTAIA
(conifere)
FILIERA INDUSTRIALE

**14,4% GESTIONE
NON CLASSIFICATA**

Le forme di gestione delle foreste sono principalmente due: a ceduo e a fustaia. Il ceduo è una forma di governo applicata ai boschi di caducifoglie (faggio, quercia, castagneto) che sfrutta la capacità degli alberi di rigenerarsi tramite polloni basali, consentendo tagli a raso periodici secondo diversi approcci. Quello più diffuso in Italia è il ceduo matricinato, ovvero boschi in cui, in ogni turno di taglio, vengono lasciati in piedi, in maniera uniforme, esemplari che hanno il compito di favorire la produzione di seme per sostituire le ceppaie eventualmente morte durante il taglio e di proteggere il suolo. La destinazione del legno così gestito è la filiera energetica. La fustaia rispetta lo sviluppo naturale della pianta e per questo si presenta con fusti singoli di grandi dimensioni. E' la forma di governo tipica dei boschi di conifere (ma non soltanto), la cui destinazione è la filiera industriale (legno da opera).

Tutte le foreste presenti in Italia sono gestite, almeno formalmente. Secondo i dati del Terzo Inventario Forestale Nazionale (INCF, 2015) la forma di governo prevalente è quella del ceduo, che copre il 42,3% della superficie forestale comprensiva dei soli boschi (al netto quindi delle altre terre boscate). Il 39,7% dei boschi italiani sono invece governati a fustaia, in particolare coetanea con una piccola porzione di fustaia di transizione derivante dalla conversione di boschi cedui a fustaie. Il 14,4% sono boschi con una forma di governo non classificata o indefinita. In questo gruppo sono ricompresi anche i boschi formati per rinaturalizzazione spontanea di aree abbandonate e mai sottoposti ad interventi selvicolturali (INCF, 2015).

Nella realtà una parte considerevole delle foreste italiane non è attualmente gestita. Questo si può evincere per esempio da un'analisi della distribuzione delle classi di età dei boschi cedui e delle fustaie dove prevalgono gli stadi maturo e invecchiato oltre turno, a testimonianza di un mancato prelievo. Una possibile spiegazione del fenomeno va ricercata nella struttura particolarmente polverizzata della proprietà privata che ne rende diseconomica la gestione. Accanto a questo va sottolineato come molte proprietà in aree alpine e appenniniche siano state ereditate da persone che non abitano più sul territorio e che spesso si disinteressano di tali beni. Si assiste dunque ad una rinaturalizzazione dei boschi gestiti. I cedui in abbandono tendono a riconfigurarsi come fustaie e la foresta si diversifica per classi di età e dimensioni. Da un punto di vista naturalistico questo processo rappresenta un indubbio progresso verso il recupero della complessità e ricchezza ecosistemica.

Un discorso diverso è quello dei boschi vetusti. In Italia, secondo il Testo Unico in materia di foreste e filiere forestali, i boschi vetusti sono "le formazioni boschive, naturali o artificiali, ovunque ubicate, che per età, forme o dimensioni, ovvero per ragioni storiche, letterarie, toponomastiche o paesaggistiche, culturali e spirituali, presentino caratteri di preminente interesse, tali da richiedere il riconoscimento ad una speciale azione di conservazione". I boschi vetusti sono infatti gli unici lembi in cui non esistono fenomeni di degrado di derivazione antropica che accompagna ogni forma di utilizzo e gestione del bosco. Le loro strutture e le speciali caratteristiche ecologiche forniscono l'habitat per specie animali e vegetali, come pipistrelli, uccelli, licheni e mammiferi che non si trovano in nessun altro tipo di foresta,

rendendoli tra gli ecosistemi italiani più ricchi in biodiversità. Secondo la FAO, in Italia i boschi vetusti coprono 93 mila ettari. Ne fanno parte i boschi alpini di conifere, le leccete mediterranee dell'Aspromonte e del Gennargentu e le Antiche Faggete, presenti dalla Emilia-Romagna alla Basilicata, queste ultime riconosciute Patrimonio dell'Umanità dall'UNESCO per il loro eccezionale valore ecologico, estetico, spirituale, scientifico, educativo. I boschi vetusti forniscono un deposito di diversità genetica che si è evoluta nel corso di millenni, un laboratorio di ricerca unico per gli scienziati, che consente loro di indagare sul funzionamento della natura. La rarità, i valori e l'unicità biologica ed ecologica rendono questi biomi un elemento chiave della conservazione della natura. La loro protezione stretta è essenziale e urgente, un primo e fondamentale passo per garantirne la conservazione a lungo termine è l'attuazione dell'obiettivo di proteggere rigorosamente il 10% del territorio dell'Unione Europea.

La filiera del legno in Italia

La produzione di legname nazionale si aggira costantemente attorno agli 8 milioni di m³ di cui tra il 63% e il 65% destinato alla produzione energetica (RaF Italia, 2017-18). La filiera del legno italiana, compresa quella della carta, vale circa l'1% del PIL, in linea con i principali Paesi europei. Se si scorpora la sola selvicoltura, però, emerge una differenza molto ampia. In Italia questa vale lo 0,03% del PIL mentre in media in Unione Europea lo 0,2%. Ne emerge un quadro italiano caratterizzato da un vivace settore della trasformazione (carta, mobili, edilizia) non supportato da un'adeguata produzione nazionale di materia prima. Una contraddizione, visto che il nostro Paese è uno dei più dotati di superficie forestale di grande varietà, ma in linea con quanto visto rispetto alle forme di gestione del bosco. In Italia prevale il ceduo, un legno di scarso valore e piccolo diametro utilizzato per lo più a fini energetici. Ciò conduce l'Italia ad essere un importatore netto di materia prima. In particolare per la filiera manifatturiera si importa una quantità di legno pari al 53,8% di quella prodotta (e se ne esporta l'8,8%), per la filiera energetica si importa il 16% (e se ne esporta lo 0,1%) (ESTà, 2023).

Scala regionale (Lombardia)

La Lombardia è la regione con la più ampia proporzione di territorio cementificato in Italia: nel 2021 una percentuale pari al 12,12% (era il 12,08% solo un anno prima) su una media nazionale del 7,13% (come riportato nel Rapporto SNPA 2022 sul consumo di suolo). Questo fenomeno si concentra in particolare nelle aree prealpine e dell'alta pianura, nel territorio compreso nelle province di Varese, Milano, Monza e Brianza, Como, Lecco, Bergamo e Brescia.

A questo corrisponde un dato particolarmente basso di superficie forestale, il 26% nel 2020 (ERSAF, 2021). Il dato è significativo non tanto in termini assoluti (alcune regioni come Puglia o Sicilia hanno superfici forestali percentualmente ancor più contenute) quanto per il fatto che si tratta di una regione alpina, in cui la parte montana è fortemente forestata, a testimonianza, per contro, di un sempre più accentuato processo di

FILIERA
Italia al secondo posto in EU
per copertura forestale
ma filiera **POCO SVILUPPATA**

8 MILIONI DI M³ DI LEGNO
(63-65% filiera energetica)

1% DEL PIL NAZIONALE
(ma 0,03% del PIL
se si considera
solo selvicoltura; in EU 0,2%)

FILIERA INDUSTRIALE:
IMPORTAZIONE
DI MATERIA PRIMA
PARI AL 53,8%
DI QUELLA PRODOTTA
ESPORTAZIONE 8,8%

FILIERA ENERGETICA:
IMPORTAZIONE
DI MATERIA PRIMA
PARI AL 16%
DI QUELLA PRODOTTA
ESPORTAZIONE 0,1%

SCALA LOMBARDA



2020

**620.000 ha
DI FORESTE**

26% di superficie forestale
percentuale scarsa per una regione alpina



**81% IN MONTAGNA
12% IN COLLINA
7% IN PIANURA**



Ultimo decennio
TREND POSITIVO

**FILIERA
531.000 M³ DI LEGNO**



**85%
FILIERA ENERGETICA
13%
FILIERA INDUSTRIALE**

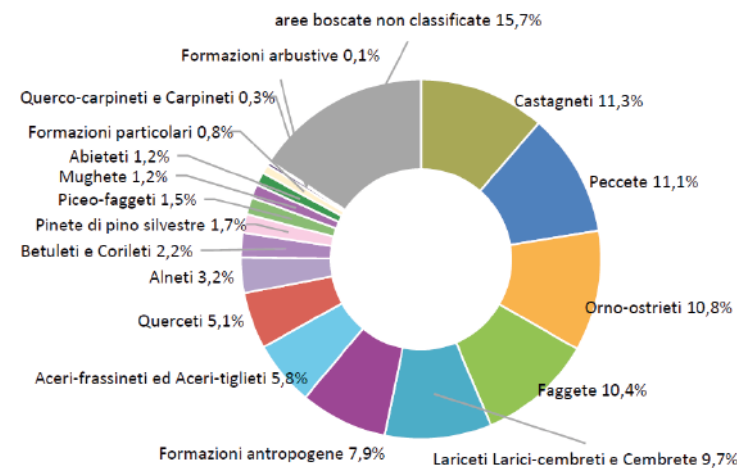
**322 IMPRESE BOSCHIVE
1002 ADDETTI**

desertificazione della pianura (RaF Italia, 2017-18).

La copertura forestale è collocata per l'81% nella fascia montana, per il 12% in quella collinare e soltanto per il 7% in quella di pianura, per una consistenza totale di 619.726 ettari. Come si vede dal grafico seguente, le tipologie di bosco vedono una netta prevalenza di formazioni collinari e montane (castagneti, aceri-frassineti, faggete, peccete, laricete e cembrete) e una scarsissima rappresentanza del bosco planiziale per eccellenza, il querceto-carpineti (0,3%) (ERSAF, 2021).

Fig. 2: Ricchezza e diversità dei popolamenti forestali della Lombardia suddivisi per categorie forestali in percentuale sul totale del bosco regionale

Fonte: ERSAF, 2021



Il trend dell'ultimo decennio è però positivo (+2,7% con 1758 ettari annui di incremento), invertendo quello negativo del periodo compreso tra i due censimenti forestali 2005 e 2015 (-0,2%). Significativo è che il maggiore incremento (+8,2%) si sia avuto nella zona di pianura (ERSAF, 2021).

Di seguito, alcuni numeri sulle foreste lombarde (ERSAF, 2021):

- Superficie a bosco: 619.726 ha ;
- Bosco pro capite: 622 m³ ;
- Tasso di boscosità :26% ;
- Incremento annuo (superficie): 1.699 ha ;
- Incremento annuo (massa): 3.656.383 m³ ;
- Serbatoio forestale CO₂: 103,4 M ton ;
- Assorbimento annuo CO₂: 3,15 M ton ;
- Pioppeti: 29.007 ha.

Per quanto riguarda le utilizzazioni, gli ultimi dati resi disponibili per il 2020 disegnano un trend in contrazione, prevedibile poiché successivo all'incremento molto sostenuto avuto per effetto della tempesta Vaia del 2018. I volumi prelevati dichiarati nel 2020 ammontano a 531.238 m³ su una superficie di 7.062 ettari. L'85% di questo volume è estratto a fini energetici, con una quota significativa per autoconsumo (37,7%) mentre il 13,1% è destinato a legname da opera. Nel settore operano 322 imprese boschive per un impiego totale di 1002 operatori, tra titolari e dipendenti. Il loro ruolo è centrale nell'esecuzione dei tagli boschivi, soprattutto in aree montuose (ERSAF, 2021).

LO SVILUPPO DELLA FILIERA FORESTALE LOMBARDA

La filiera forestale lombarda è stata analizzata in uno studio sviluppato nell'ambito del progetto INTERREG Alpine Space AlpGov2, che si inserisce all'interno della strategia macroregionale europea dello Spazio Alpino (EUSALP, 6 Stati, 40 Regioni), di cui la Regione Lombardia fa parte insieme alle Regioni italiane, svizzere, francesi, austriache, tedesche e slovene dell'intero arco alpino. L'obiettivo dello studio è quello di produrre delle linee guida strategiche per aiutare i decisori pubblici e privati a rafforzare le filiere locali del legno (ESTà, 2023).

Copertura forestale e governance

Nello Spazio Alpino la tipologia vegetazionale più tipicamente montana è quella delle conifere, un complesso di specie arboree che occupano i livelli altitudinali più elevati delle Alpi. La dominanza di questa specie porta con sé anche un preciso approccio alla gestione forestale, cioè quello del bosco ad "alto fusto" (fustaia). Per le caratteristiche del legno così prodotto, la filiera più strettamente legata all'alto fusto è quella che dalle segherie indirizza il semilavorato verso l'edilizia e altri usi del legno durevole, al massimo con il recupero degli scarti verso la filiera energetica. Considerando però la regione in modo "esteso", comprendendo quindi le Prealpi e le diverse aree di pianura, la tipologia forestale prevalente è la foresta di latifoglie. Il bosco di latifoglie consente una maggiore versatilità di gestione, essendo possibile sia la gestione a "ceduo" che l'alto fusto. Nel corso dei secoli, tuttavia, ha spesso prevalso la prima tipologia gestionale, con forme e turni di taglio diversi ma con un orientamento prevalente verso la filiera energetica. La qualità del legno, di conseguenza, è indubbiamente inferiore a quella del bosco ad alto fusto, sia in termini di diametro che di caratteristiche del legno. Per questo motivo, la destinazione principale è la filiera energetica, seguita da altri utilizzi come le recinzioni e l'ingegneria naturalistica, soprattutto in aree fortemente caratterizzate da attività agricole di pregio come la viticoltura e la frutticoltura.

Oltre alla sfera biofisica, che costituisce la base per l'esistenza di una filiera locale, particolare importanza rivestono le forme di proprietà forestale, poiché sono in stretta relazione con la capacità di pianificare strategicamente la raccolta e l'utilizzo della risorsa legno, rappresentando spesso un ostacolo insormontabile per l'organizzazione di una filiera efficiente. In generale, grazie alle dimensioni fondiari, la proprietà pubblica consente una migliore pianificazione dello sfruttamento delle risorse naturali. Le forme di proprietà forestale sono piuttosto differenziate nello Spazio Alpino, anche se con una netta prevalenza della proprietà privata su quella pubblica. In Italia, emerge una differenza tra il Nord-Ovest (la Lombardia si inserisce in questo macrogruppo regionale), caratterizzato da una prevalenza della proprietà privata (oltre il 70% del totale), e il Nord-Est, che al contrario mostra un maggior peso della proprietà pubblica. In Lombardia, nel 2015, su un totale di 667 mila ettari di foreste, il 62,8% è in mano a proprietari privati, mentre il restante 37,2% è di proprietà pubblica. La scarsa importanza del dominio pubblico nella proprietà forestale è sicuramente una strozzatura difficile da superare per lo sviluppo della filiera, che viene ulteriormente aggravata anche da una scarsa partecipazione dei proprietari privati alla programmazione dello sviluppo forestale.

Analisi economico-sociale

L'analisi è stata condotta sulla filiera industriale (non considera quindi le attività del settore primario – piantumazione, gestione del bosco – ma parte dalla disponibilità del tondame sul piazzale; si ricorda però che scarti e sottoprodotti della filiera industriale vanno ad alimentare la filiera energetica), tramite tre indicatori sintetici:

- la specializzazione nella manifattura del legno (rapporto tra il numero di persone impiegate nel settore della lavorazione del legno e il numero totale di persone impiegate nel settore manifatturiero) è relativamente bassa in Lombardia, avendo un valore (pari al 2,1%) in linea con le regioni dell'arco alpino italiano meridionale (i valori più alti della specializzazione si riscontrano nelle regioni corrispondenti alla fascia alpina centrale);
- la densità di imprese nelle attività di lavorazione del legno (numero di unità locali di imprese ogni 10.000 abitanti) è pari a 4,23 imprese ogni 10.000 abitanti, un valore più basso rispetto alle regioni della fascia alpina centrale;
- la densità occupazionale nelle attività manifatturiere della filiera legno (numero di occupati ogni 10.000 abitanti) è pari a 19,5 occupati ogni 10.000 abitanti, valore più basso sia rispetto alla media EUSALP (22,5), che alla media delle regioni italiane (23,6).

Questi indicatori restituiscono l'immagine di una filiera che non raggiunge i livelli di elevata specializzazione che caratterizzano le regioni altamente performanti dell'arco alpino (Alto Adige, Austria, Slovenia).

Raccomandazioni di policy

Per superare le difficoltà di sviluppo della filiera del legno causate dalla scarsa importanza del dominio pubblico nella proprietà forestale, il progetto ha proposto una lista di raccomandazioni prioritarie che riguardano le dimensioni della comunicazione, dell'integrazione verticale della filiera (da questo punto di vista gli accordi di filiera forestali italiani possono essere un'opportunità importante da implementare) e dello sviluppo di politiche pubbliche locali che, da una parte, sostengano la creazione di canali di consumo certificati e sostenibili e, dall'altra, facilitino la partecipazione dei piccoli proprietari al disegno delle strategie di sviluppo economico del settore forestale.

Mentre la prevalenza dell'interesse economico è direttamente proporzionale all'aumento della superficie di proprietà, per i piccoli proprietari entrano in gioco interessi diversi come quelli culturali, di patrimonio naturale o di tutela del territorio. Questo perché la gestione delle dimensioni non economiche della proprietà forestale richiede una partecipazione attiva residuale e una bassa esposizione al rischio imprenditoriale. Da questo punto di vista, gli strumenti di analisi legati alla valutazione dei servizi ecosistemici forestali potrebbero rappresentare un'importante leva di coinvolgimento dei proprietari privati a disposizione delle istituzioni o dei soggetti che ne vorranno fare uso.

Città Metropolitana di Milano

Come si desume dalla seguente tabella (ERSAF, 2021), le aree esclusivamente di pianura sono praticamente sprovviste di boschi (Cremona, Mantova, Lodi). Il territorio milanese, con un tasso di boscosità del 5% (8.632 ha), fa in qualche modo eccezione, potendo contare sui boschi ripariali conservati attorno alle principali aste fluviali e in particolare del Ticino.

Tab.1: Superficie a bosco e indice di boscosità provinciale (percentuale di superficie boscata rispetto all'intera superficie provinciale), anno 2020
Fonte: ERSAF, 2021

PROVINCIA	BOSCO (ha)	% SUL TOT.	TASSO DI BOSCOSENTA'
BERGAMO	113.883	18,3%	41%
BRESCIA	171.469	27,7%	36%
COMO	60.755	9,6%	47%
CREMONA	3.625	0,6%	2%
LECCO	37.811	6,2%	47%
LODI	2.228	0,4%	3%
MANTOVA	2.208	0,3%	1%
MILANO	8.632	1,4%	5%
MONZA E BRIANZA	4.064	0,6%	10%
PAVIA	37.506	6,0%	13%
SONDRIO	125.112	20,2%	39%
VARESE	52.433	8,5%	44%
Totale	619.726	100,0%	26%

Il territorio boscato della Città Metropolitana risulta non classificabile dal punto di vista della gestione, per il 67,1% e costituito da formazioni antropogene per il 25,7% (ERSAF, 2021).

Entrambe le categorie sono per lo più formate da robinieti misti, tipologie di boschi alloctoni fortemente diffusi in pianura dove il disturbo antropico è estremamente elevato. Le uniche tipologie di bosco riconducibili a ecosistemi naturali sono i querceto-carpineti, la tipica formazione planiziale dominata dalla farnia e dal carpino bianco (1,3%), i querceti (2,7%) e gli alneti, tipici delle aree umide e perfluviali (0,3%) (Geoportale della Regione Lombardia).

Nel territorio milanese la filiera produttiva del legno riguarda esclusivamente le coltivazioni di pioppo, non prese in considerazione in questa sede.

Il parco del Ticino²

La principale area boschiva della Città Metropolitana di Milano è situata all'interno del Parco del Ticino. Proprio le fasce ripariali del fiume, su entrambe le sponde, rappresentano oggi il principale esempio di foresta planiziale della Pianura Padana, arrivando a contare circa 20.000 ettari di estensione.

Si tratta di ambienti spesso degradati dalle attività antropiche, a partire dagli abbattimenti e dalla coltivazione dei pioppeti perpetrati nel territorio del parco fino alla sua istituzione, nel 1971. Tuttavia, da allora, una mappatura prima e un piano di gestione poi hanno consentito di andare verso il ripristino del valore ambientale della foresta planiziale ticinese,

² ente.parcoticino.it/natura-e-paesaggio/ecosistemi-e-biodiversita/foreste-del-parco/

CITTÀ METROPOLITANA
DI MILANO



TASSO DI BOSCOSENTA' 5%



PRINCIPALE AREA BOSCHIVA
RAPPRESENTATA DAI
BOSCHI RIPARIALI
NEL PARCO DEL TICINO

(20.000 ha su entrambe
le sponde del fiume)

estromettendo quanto possibile le specie invasive alloctone e le coltivazioni e impedendo le pratiche indiscriminate utilizzate fino a quel momento come i fuochi radenti e la caccia non regolata. Il parco, lungo tutta la sua estensione, conserva gli ultimi esempi delle vegetazioni dell’alta e bassa pianura lombarda. Dalle brughiere dei pianalti ai quercu-carpineti del fondo valle fino ai saliceti, alle ontanete e alle quercete rade più vicine al fiume.

IL RUOLO DEL BOSCO NELLO STOCCAGGIO DEL
CARBONIO NELLA CITTÀ METROPOLITANA DI
MILANO

L’approccio dei servizi ecosistemici si presta bene ad interpretare l’utilità degli alberi in città. È proprio in ambito urbano che infatti l’albero diventa sempre più tassello di infrastrutture verdi che risaltano via via per il proprio ruolo nel costruire valore e vivibilità. Soprattutto in conglomerati urbani che subiscono, più che altrove, le conseguenze del riscaldamento climatico, con periodi torridi sempre più lunghi, facilitati dalle superfici cementificate e dalla densità di traffico, che rischiano, in futuro, di compromettere la qualità della vita dei loro cittadini.

Ecco che in città gli alberi assumono importanza soprattutto per alcuni servizi regolativi e culturali. L’ombreggiamento e il raffrescamento, in primo luogo, che aiutano a contrastare le isole di calore che affliggono le aree centrali della città, nelle estati sempre più calde e lunghe dell’area mediterranea e continentale europea; la filtrazione degli inquinanti con il conseguente miglioramento della qualità dell’aria, soprattutto in luoghi dove i livelli di polveri sottili rimangono elevati durante tutto l’anno a causa della scarsa ventilazione; la regolazione del flusso delle acque e l’incremento dell’infiltrazione nelle falde acquifere, in particolare nelle aree urbane caratterizzate da periodiche piene di fiumi e torrenti con conseguenti fenomeni alluvionali; l’incremento del valore estetico e della vivibilità dei quartieri.

Questi servizi hanno una ricaduta presente che si determina in una crescita della qualità della vita e, conseguentemente, in un incremento dei valori immobiliari. Inoltre, diventano di fondamentale importanza strategica per la proiezione futura dei loro benefici, che ha a che vedere con l’adattamento della città al cambiamento climatico e dunque il mantenimento della sua attrattività.

Il Secondo Inventario Forestale Nazionale (INCF, 2005) fornisce la fotografia della biomassa e dell’accrescimento annuale per le principali tipologie di bosco in ciascuna regione. Questo dato è stato messo in relazione all’estensione delle tipologie boschive (banca dati geografica DUSAF, dati 2018). E’ stato così possibile ricavare, per la Città Metropolitana di Milano, sia la fitomassa totale che l’incremento annuale (terza e quinta colonna della tabella 2). Poiché l’incremento è misurato in m³ è stato applicato un fattore di conversione (INFC, 2005). Per riportarlo ad una misura di peso. Al valore della fitomassa è stato aggiunto anche quello della lettiera e del

suolo. La conversione del peso delle strutture vegetali in carbonio organico è stata effettuata in maniera speditiva attraverso un coefficiente dello 0,5. In questo modo si ottiene un dato complessivo di 1,18 milioni di tonnellate di carbonio organico all’interno dei soprassuoli forestali milanesi di cui la gran parte (764.858) rappresentata dal carbonio organico del suolo con una media di 83 tonnellate all’ettaro contro le 43 della fitomassa. In totale quasi 130 tonnellate di carbonio all’ettaro conservate nei boschi metropolitani.

Tab. 2: Stima della quantità di carbonio stoccato e annualmente organicato dalle foreste della Città Metropolitana di Milano
Fonte: Rielaborazione EStà su dati DUSAF 2018 e INFC 2005

		Fitomassa						Lettiera e suolo	
Categoria	Estensione (ha) A	Fitomassa (Mg/ha) B	Fitomassa totale (Mg) AxB	Coefficiente di incremento annuo (m³/ha/anno) C	Incremento annuo totale (m³) AxC=D	Fattore conversione m³/Mg E	Incremento Mg DxE=F	Lettiera e suolo (Mg/ha) G	Lettiera e suolo TOT (Mg) AxC
Alneti	25,1	95,1	2384,8	5,5	137,9	0,6	82,2	89,1	2235,1
Aree boschive non classificate	732,1	88,1	64500,1	4,7	3441	0,81	2780,1	84,5	61893,8
Non classificabile DUSAF	5051,3	88,1	445021,9	4,7	23741,2	0,81	19181,6	84,5	427039,1
Castagneti	1,9	173,1	322,1	7,2	13,4	0,62	8,3	109,6	203,9
Formazione antropogene	2830,5	88,1	249370	4,7	13303,5	0,81	10748,5	84,5	239293,3
Formazioni particolari	105,5	88,1	9294,3	4,7	495,8	0,81	400,6	84,5	8918,7
Orno-ostrieti	2,9	95,1	277,2	5,5	16	0,6	9,6	89,1	259,8
Querceti	244,3	83,1	20304	3,2	781,9	0,81	632,1	68,9	16829,6
Quercu-carpineti e Carpineti	118,8	83,1	9875	3,2	380,3	0,81	307,4	68,9	8185,2
TOTALE FITOMASSA	-	-	801349,4	-	42311	-	34150,4	-	764858,5
TOTALE CARBONIO ORGANICO	-	-	400674,7	-	-	-	17075,2	-	382429,25

MAPPA DELLE POLITICHE

Malgrado siano molto numerose, si è scelto di mappare tutte le politiche (104) che in maniera diretta o indiretta possano avere un impatto sul settore agro-forestale in relazione alla transizione climatica: alcune sono di carattere trasversale, altre riguardano tematiche specifiche (per esempio suolo, ricerca e innovazione, sviluppo sostenibile, etc), altre ancora sono relative nello specifico al settore considerato (agricoltura, comprensiva degli allevamenti e foreste). La mappatura è stata realizzata considerando la scala globale (quasi esclusivamente il livello delle Nazioni Unite), l'Unione Europea, l'Italia, la Regione Lombardia, la Città Metropolitana di Milano e il Comune di Milano. L'obiettivo della mappatura è da un lato mostrare la complessità del sistema normativo (sia *command&control* sia basato su incentivi, finanziamenti e indicazioni non cogenti), dall'altro fornire un quadro il più possibile completo, estraendo i principali target quantitativi inseriti nelle politiche. Laddove non diversamente indicato (), il target è da considerarsi non cogente (vd. elenco). La mappatura è stata utilizzata inoltre come base per l'elaborazione delle indicazioni di policy, finalità della presente ricerca.

Il metodo di lavoro seguito per la mappatura ha previsto due fasi, supportate da interviste, confronto con il Comitato Scientifico e analisi documentale. Nella prima fase sono state raccolte più di 200 policy per le diverse scale di azione sopra citate e relative agli ultimi 10 anni (o risalenti a un periodo maggiore nel caso siano ancora vigenti o di importanza rilevante per i campi della ricerca). Nella seconda fase, è stata sviluppata l'analisi di dettaglio relativa a 104 policy maggiormente focalizzate rispetto agli obiettivi della ricerca (9 a livello mondiale, 38 a scala europea, 22 a scala italiana, 27 alla scala regionale lombarda, 2 alla scala metropolitana milanese e 6 relative al Comune di Milano). Le policy di carattere volontario promosse da enti non governativi sono state mappate solo se considerate rilevanti e, nel caso della Regione Lombardia, selezionando unicamente quelle che vedono l'adesione attiva della Regione stessa.

Le politiche sono state approfondite analizzando i testi originali, le tempistiche di approvazione e attuazione (laddove possibile), le tematiche principali e i target (se esistenti) e infine la cogenza. Particolare attenzione è stata data all'individuazione di gerarchie e collegamenti tra le varie policy.

Il database prodotto (materiale di lavoro che non è parte del presente report per esigenze di spazio e di sintesi) è stato alla base dell'elaborazione della mappa delle politiche.

SINTESI DEI PRINCIPALI TARGET QUANTITATIVI

Mondo

- contenere l'incremento della temperatura a +1,5°C rispetto ai livelli pre-industriali (Accordo di Parigi, 2015, cogente in caso di ratifica)
- ridurre almeno del 30% le emissioni globali di metano in tutti i settori entro il 2030, rispetto ai livelli del 2020 (Global Methane Pledge, 2021)
- target 30x30, ovvero avere minimo il 30% di aree tutelate nel 2030 (Convenzione ONU per la Biodiversità, 2022, cogente in caso di ratifica)

Unione Europea

- neutralità climatica entro il 2050; riduzione (rispetto ai valori del 1990) delle emissioni climalteranti del 55% entro il 2030 (Legge europea per il clima/Fit for 55, 2021, cogente)
- neutralità climatica entro il 2050 con obiettivo di riduzione delle emissioni climalteranti del 57% entro il 2030 (rispetto ai valori del 1990) oppure del 40% (rispetto ai livelli del 2005) per i settori non ETS (Proposta di regolamento sulle riduzioni annuali vincolanti di emissioni di gas a effetto serra 2021-2030 nei settori "non ETS", 2022, in attesa di adozione)
- riduzione delle emissioni antropiche di CH₄ del 35-37% entro il 2030 rispetto al 2005 (Strategia UE per ridurre le emissioni metano, 2021)
- spesa UE pari ad almeno il 30% per clima nel periodo 2021-2027 e al 37% per ripresa e resilienza (Strategia di adattamento ai cambiamenti climatici, 2021, cogente)
- 310 milioni di tonnellate di carbonio rimosse dal settore LULUCF (land use, Land Use Change and Forestry) entro il 2030; neutralità climatica del settore entro il 2035 (Comunicazione sui cicli di carbonio/Proposta Regolamento Neutralità climatica nel settore dell'uso del suolo, della silvicoltura e dell'agricoltura, 2021)
- almeno il 75% di tutti i suoli in ciascuno Stato membro dovrà essere sano o mostrare un miglioramento significativo entro il 2030 (Proposta - Mission for Soil Health and Food: Caring for soil is caring for life, 2020)

Altri target al 2030 (Strategia Farm to Fork, 2020/Strategia sulla biodiversità per il 2030, 2020/Proposta di regolamento Europeo per il ripristino della natura - "Nature Restoration Law", 2022/Piano di azione per lo sviluppo della produzione biologica, 2021):

- ridurre le perdite di nutrienti di almeno il 50%, garantendo nel contempo che non si verifichi un deterioramento della fertilità del suolo
- ridurre l'uso dei fertilizzanti di almeno il 20%
- almeno il 25% della superficie agricola dell'UE investita ad agricoltura biologica
- ridurre l'uso e il rischio complessivi dei pesticidi chimici del 50% e l'uso

.....
1 L'agricoltura e la silvicoltura fanno parte dei cosiddetti settori "non ETS", ossia non sottoposti al sistema di scambio di quote di emissione (Emissions Trading Scheme).

- dei pesticidi più pericolosi del 50%
- ridurre del 50% le vendite di sostanze antimicrobiche per gli animali di allevamento
- destinare a temi specifici o rilevanti per il settore biologico almeno il 30% del bilancio per le azioni di ricerca e innovazione nel campo dell'agricoltura, della silvicoltura e delle zone rurali
- raggiungere il 10% di elementi del paesaggio con elevata biodiversità all'interno delle aree agricole
- proteggere rigorosamente almeno un 1/3 delle zone protette dell'UE, comprese tutte le foreste primarie e antiche ancora esistenti sul suo territorio
- piantare 3 miliardi di nuovi alberi, nel pieno rispetto dei principi ecologici
- dotare le città con almeno 20.000 abitanti di un piano ambizioso di inverdimento urbano.
- rigenerare il 20% dell'habitat terrestre e marino
- invertire il declino delle popolazioni di impollinatori e aumentare il loro numero negli anni successivi al 2030
- fermare la perdita netta di spazi verdi urbani, prevedendone un aumento del 5% entro il 2050, garantendo un minimo del 10% di copertura arborea in ogni città, paese e borgo europeo e raggiungendo un guadagno netto di spazi verdi integrati agli edifici e alle infrastrutture

Italia

- neutralità climatica al 2050 (e riduzione del 55% delle emissioni di GHG al 2030); consumo di suolo netto zero entro il 2030, sia minimizzando gli interventi di artificializzazione, sia aumentando il ripristino naturale delle aree più compromesse (Piano nazionale per la transizione ecologica, 2022).
- al 2050 sono previste circa 65-85 MtCO₂eq di emissioni considerate incompressibili (di queste, 50 MtCO₂eq di natura non energetica, derivanti principalmente dal settore agricolo): la neutralità climatica sarà raggiunta compensando con assorbimenti forestali (fino a 45 MtCO₂eq circa) e con tecnologie di cattura e stoccaggio della CO₂ (20-40 MtCO₂eq) (Strategia IT di lungo termine sulla riduzione delle emissioni dei GHG, 2021)
- riduzione dei gas climalteranti al 2030, rispetto al 2005, con un obiettivo per tutti i settori non ETS del 33% (PNIEC - Piano Nazionale Integrato per Energia e il Clima 2030, 2020, cogente, ancora da adeguare al Fit for 55)
- il 25% della SAU nazionale dedicata ad agricoltura biologica entro il 2027 (PSP - Piano Strategico Nazionale PAC 2023-2027, cogente)

Regione Lombardia

- neutralità climatica entro il 2050 con target di riduzione di 43.5 Mt CO₂eq tranne settori EU-ETS non di competenza regionale (PREAC - Programma Regionale Energia Ambiente e Clima, 2022, cogente)
- rientro entro i limiti di legge di tutti gli inquinanti (entro il 2025), in particolare miglioramento della gestione dei reflui zootecnici, princi-

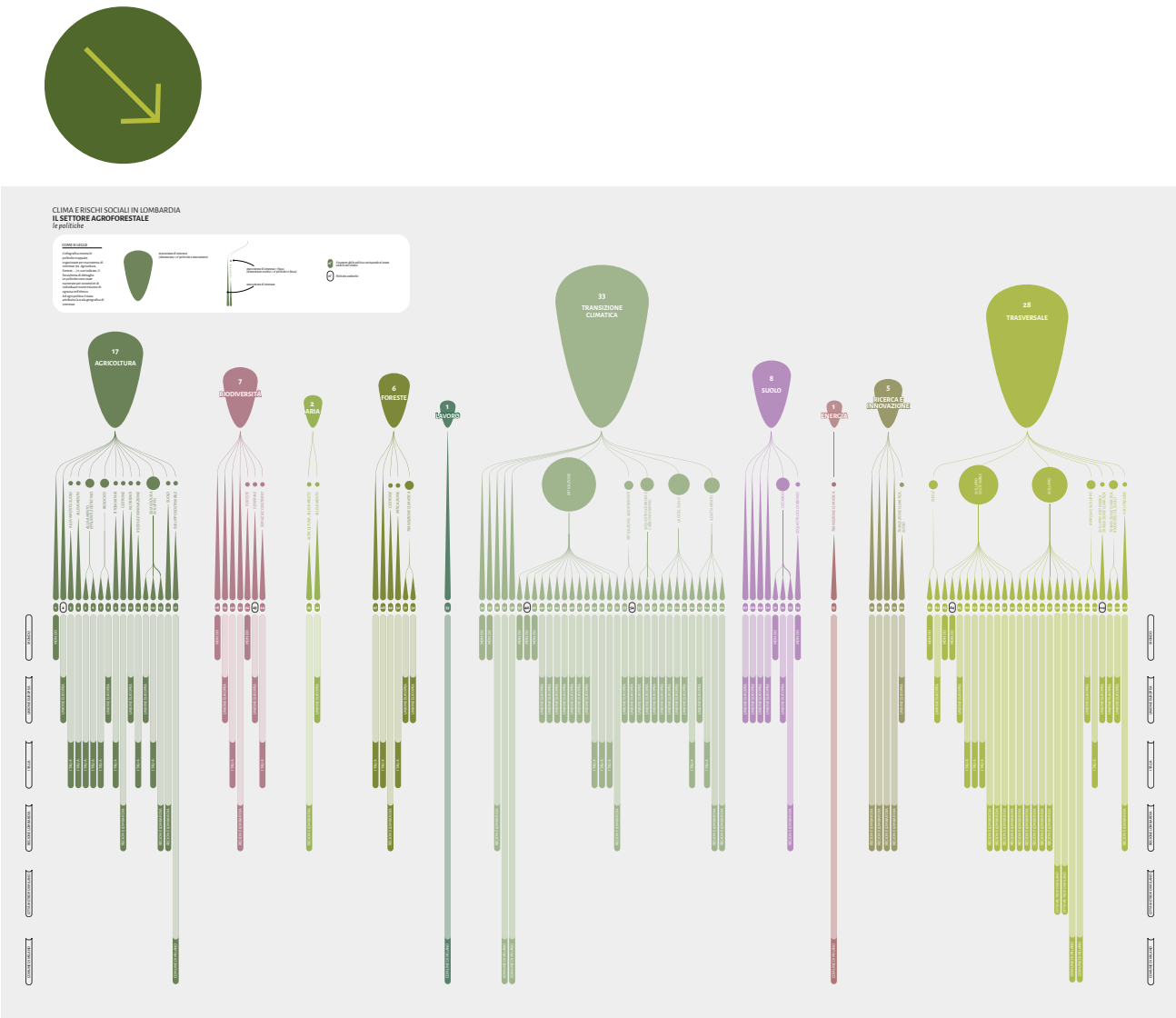
- pale fonte emissiva di ammoniaca (per oltre il 96%), che è precursore di particolato e di N₂O. Elaborati due scenari di riduzione per NH₃: - 26% entro il 2030 rispetto al 2015 (PRIA - Piano Regionale degli Interventi per la Qualità dell'Aria), - 29% entro il 2025 (Accordo di Bacino Padano). L'obiettivo al 2025 è quello di assicurare attraverso apposito strumento giuridico l'applicazione delle migliori tecniche di stabulazione all'80% degli allevamenti lombardi (PRIA - Piano Regionale degli Interventi per la Qualità dell'Aria e Accordo di Bacino padano, 2013/2018)
- riduzione del consumo di suolo pari al 20-25% (in media) per il 2020 e pari al 45% per il 2025 (Revisione PTR - Piano Territoriale Regionale, 2022, cogente)
- consumo di suolo netto pari a zero nel 2050 (Disposizioni per la riduzione del consumo di suolo e per la riqualificazione del suolo degradato e Indirizzi applicativi, 2014/2015, cogente)

Comune di Milano

- neutralità climatica al 2050 e riduzione del 45% di emissioni di CO₂ (4.121 kt) al 2030 (rispetto al 2005). Rientrare nei valori limite delle concentrazioni degli inquinanti atmosferici PM₁₀ e NO_x. Contribuire a contenere l'aumento locale della temperatura al 2050 entro i 2°C, mediante azioni di raffrescamento urbano e riduzione del fenomeno dell'isola di calore in città (Dichiarazione emergenza climatica e ambientale, 2019/ PAC - Piano Aria e Clima, 2022, cogente)
- entro il 2030 riduzione del 50% delle aree grigie impermeabili residue (aumento della superficie drenante in città, tramite Nature Based Solution). Il programma di forestazione ForestaMi, i piani per rendere più verdi i tetti e le facciate degli edifici e la creazione del Parco Metropolitano possono generare occupazione correlata ai servizi di manutenzione e al mantenimento degli ecosistemi, stimata in oltre 13.700 nuovi posti di lavoro entro il 2050 (PAC - Piano Aria e Clima, 2022, cogente)
- entro il 2030 riduzione della superficie urbanizzabile da circa 3,5 milioni di m² a circa 1,8 milioni di m², con un risparmio di suolo pari a circa 1,7 milioni di m² (PGT - Piano di Governo del territorio, 2019, cogente)

Analizzando quindi 104 politiche alle varie scale inerenti la transizione ecologica del settore agro-forestale, sono stati individuati 33 target quantificati di cui solo meno della metà (12) cogenti.

Clicca sull'immagine per
visualizzarla sul sito



LA NUOVA POLITICA AGRICOLA COMUNE - DALL'EUROPA
ALLA LOMBARDIA

La nuova Politica Agricola Comune (PAC) 2023-2027 presenta alcune novità tra le quali la più rilevante riguarda il cambiamento di governance. Lo snodo principale di attuazione dei Regolamenti europei in merito infatti è individuato a livello statale, anche per quanto riguarda lo Sviluppo Rurale (precedentemente di competenza delle Regioni). I Piani nazionali strategici per la PAC (PSP) diventano quindi i documenti di riferimento, sono definiti a valle della negoziazione con le Regioni e contemplano tutti gli strumenti finanziabili attraverso i due principali Fondi europei che interessano il settore primario (FEAGA e FEASR), costituendo così una strategia unitaria per il settore agricolo, agroalimentare e forestale.

La nuova PAC prevede (ancora) due tipi di pagamenti: quelli diretti, riferiti al cosiddetto “primo pilastro” (pagamenti “accoppiati”, cioè collegati alla produzione di specifiche colture o allevamenti e pagamenti “disaccoppiati”, ossia indipendenti dalla produzione e in rapporto alle superfici o ai capi di bestiame) e quelli indiretti riferiti al “secondo pilastro” per lo Sviluppo Rurale.

Il contributo alla mitigazione e adattamento al cambiamento climatico e al perseguimento degli obiettivi ambientali (in termini di tutela della qualità dell'aria, delle risorse naturali e di protezione del suolo) è articolato in tre componenti: condizionalità rafforzata ed ecoschemi (o regimi ecologici) secondo un approccio nazionale comune (PSP), e misure agro-climatico-ambientali con declinazione regionale (che in generale vale per tutti gli interventi di sviluppo rurale, dettagliati per ogni Regione attraverso il Complemento per lo Sviluppo Rurale del PSP).

La condizionalità rafforzata subordina l'erogazione del sostegno della PAC (anche i pagamenti diretti, cioè relativi al primo pilastro) al rispetto di 11 Criteri di Gestione Obbligatorie (CGO) e 9 Buone Condizioni Agronomiche e Ambientali (BCAA v. Tab. 1)).

I 5 eco-schemi (con oltre 4 miliardi di dotazione finanziaria a livello italiano) sono:

- ecoschema 1 - pagamento per la riduzione dell'antimicrobico resistenza e il benessere animale
- ecoschema 2 - inerbimento delle colture arboree
- ecoschema 3 - salvaguardia olivi di particolare valore paesaggistico
- ecoschema 4 - sistemi foraggeri estensivi con avvicendamento culturale
- ecoschema 5 – misure specifiche per gli impollinatori

L'adesione agli ecoschemi per gli agricoltori è facoltativa. Come si intuisce dai titoli, gli ecoschemi 1, 2 e 4 sono in relazione diretta con i principi dell'agricoltura biologica.

I 29 interventi agro-climatico-ambientali previsti nel secondo pilastro per lo Sviluppo Rurale (con una dotazione pari a circa 4,5 miliardi di euro) includono pratiche agro-climatico-ambientali e silvoambientali, oltre al sostegno all'agricoltura biologica e al benessere animale (si tratta di alcuni degli interventi SRA e SRB). Gli interventi SRA e SRB contribuiscono al raggiungimento del 35% di quota FEASR da destinare al sostegno delle azioni per il clima e l'ambiente (target europeo obbligatorio). Il PSP italiano, inoltre, anticipa al 2027 l'obiettivo previsto dalla Farm to fork (25% della SAU ad agricoltura biologica entro il 2030).

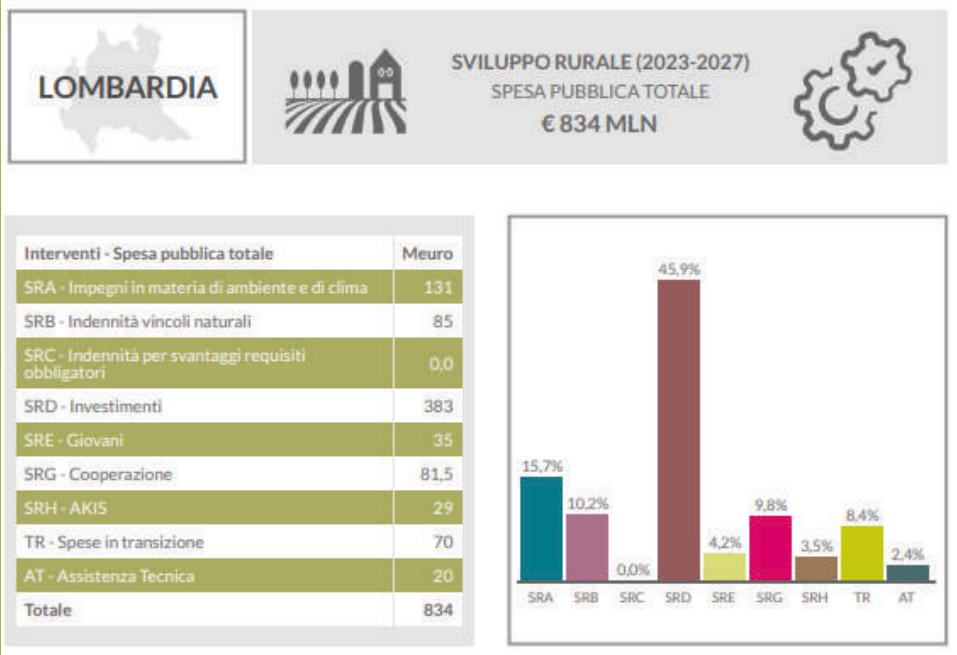
Nelle figure seguenti sono sintetizzati gli interventi attivati da Regione Lombardia. Ogni intervento

.....

2 Per tutti gli interventi SRA e SRB, sono previste decurtazioni del premio se non si rispettano: la condizionalità rafforzata, la condizionalità sociale (condizioni di lavoro trasparenti e prevedibili; miglioramento della sicurezza e della salute dei lavoratori; requisiti minimi di sicurezza e di salute per l'uso delle attrezzature di lavoro) e – solo per gli interventi SRA – i requisiti minimi relativi all'uso di fertilizzanti, di prodotti fitosanitari al benessere animale.

Tema principale	Requisiti e norme	
Cambiamenti climatici (mitigazione e adattamento)	BCAA 1	Mantenimento dei prati permanenti sulla base di una percentuale di prati permanenti in relazione alla superficie agricola a livello nazionale, regionale, subregionale, di gruppo di aziende o di azienda rispetto all'anno di riferimento 2018. Diminuzione massima del 5 % rispetto all'anno di riferimento
	BCAA 2	Protezione di zone umide e torbiere
	BCAA 3	Divieto di bruciare le stoppie, se non per motivi di salute delle piante
Acqua	CGO 1	Direttiva 2000/60/CE del Parlamento europeo e del Consiglio, del 23 ottobre 2000, che istituisce un quadro per l'azione comunitaria in materia di acque (GU L 327 del 22.12.2000, pag. 1); articolo 11, paragrafo 3, lettera e) e lettera h), per quanto riguarda i requisiti obbligatori per controllare le fonti diffuse di inquinamento da fosfati
	CGO 2	Consiglio, del 12 dicembre 1991, relativa alla protezione delle acque dell'inquinamento provocato dai nitrati provenienti da fonti agricole (GU L 375 del 31.12.1991, pag. 1); articoli 4 e 5
	BCAA 4	Introduzione di fasce tampone lungo i corsi d'acqua
Suolo (protezione e qualità)	BCAA 5	Gestione della lavorazione del terreno per ridurre i rischi di degrado ed erosione del suolo, tenendo anche conto del gradiente della pendenza.
	BCAA 6	Copertura minima del suolo per evitare di lasciare nudo il suolo nei periodi più sensibili1
	BCAA 7	Rotazione delle colture sui seminativi, ad eccezione delle colture sommerse
Biodiversità e paesaggio (protezione e qualità)	CGO 3	Direttiva 2009/147/CE del Parlamento europeo e del Consiglio, del 30 novembre 2009, concernente la conservazione degli uccelli selvatici (GU L 20 del 26.1.2010, pag. 7): articolo 3, paragrafo 1, articolo 3, paragrafo 2, lettera b), articolo 4, paragrafi 1, 2 e 4
	CGO 4	Direttiva 92/43/CEE del Consiglio, del 21 maggio 1992, relativa alla conservazione degli habitat naturali e seminaturali e della flora e della fauna selvatiche (GU L 206 del 22.7.1992, pag. 7): articolo 6, paragrafi 1 e 2
	BCAA 8	Percentuale minima della superficie agricola destinata a superfici o elementi non produttivi1 - Percentuale minima di almeno il 4 % dei seminativi a livello di azienda agricola destinati a superfici ed elementi non produttivi, comprese le superfici lasciate a riposo. - Se un agricoltore si impegna a destinare almeno il 7 % dei propri seminativi a superfici o elementi non produttivi, compresi i terreni lasciati a riposo, nell'ambito di un regime ecologico rafforzato a norma dell'articolo 31, paragrafo 6, la quota da attribuire al rispetto della presente norma BCAA è limitata al 3 %. - Percentuale minima di almeno il 7 % dei seminativi a livello di azienda agricola, se essa comprende anche colture intercalari o colture azotofissatrici, coltivate senza l'uso di prodotti fitosanitari, di cui il 3 % è costituito da superfici lasciate a riposo o elementi non produttivi. Gli Stati membri dovrebbero utilizzare il fattore di ponderazione dello 0,3 per le colture intercalari.
		- Mantenimento degli elementi caratteristici del paesaggio - Divieto di potare le siepi e gli alberi nella stagione della riproduzione e della nidificazione degli uccelli - A titolo facoltativo, misure per combattere le specie vegetali invasive
	BCAA 9	Divieto di conversione o aratura dei prati permanenti indicati come prati permanenti sensibili sotto il profilo ambientale nei siti di Natura 2000
Sicurezza alimentare	CGO 5	Regolamento (CE) n. 178/2002 del Parlamento europeo e del Consiglio, del 28 gennaio 2002, che stabilisce i principi e i requisiti generali della legislazione alimentare, istituisce l'Autorità europea per la sicurezza alimentare e fissa procedure nel campo della sicurezza alimentare (GU L 31 dell'1.2.2002, pag. 1): articoli 14 e 15, articolo 17, paragrafo 11, e articoli 18, 19 e 20
	CGO 6	Direttiva 96/22/CE del Consiglio, del 29 aprile 1996, concernente il divieto d'utilizzazione di talune sostanze ad azione ormonica, tireostatica e delle sostanze β- agoniste nelle produzioni animali e che abroga le direttive 81/602/CEE, 88/146/CEE e 88/299/CEE (GU L 125 del 23.5.1996, pag. 3): articolo 3, lettere a), b), d) ed e), e articoli 4, 5 e 7
Prodotti fitosanitari	CGO 7	Regolamento (CE) n. 1107/2009 del Parlamento europeo e del Consiglio, del 21 ottobre 2009, relativo all'immissione sul mercato dei prodotti fitosanitari e che abroga le direttive del Consiglio 79/117/CEE e 91/414/CEE (GU L 309 del 24.11.2009, pag. 1): articolo 55, prima e seconda frase
	CGO 8	Direttiva 2009/128/CE del Parlamento europeo e del Consiglio, del 21 ottobre 2009, che istituisce un quadro per l'azione comunitaria ai fini dell'utilizzo sostenibile dei pesticidi (GU L 309 del 24.11.2009, pag. 71): articolo 5, paragrafo 2, e articolo 8, paragrafi da 1 a 5 articolo 12 in relazione alle restrizioni all'uso dei pesticidi in zone protette definite sulla base della direttiva 2000/60/EC e della legislazione relativa a Natura 2000 articolo 13, paragrafi 1 e 3, sulla manipolazione e lo stoccaggio dei pesticidi e lo smaltimento dei residui
Benessere degli animali	CGO 9	Direttiva 2008/119/CE del Consiglio, del 18 dicembre 2008, che stabilisce le norme minime per la protezione dei vitelli (GU L 10 del 15.1.2009, pag. 7): articoli 3 e 4
	CGO 10	Direttiva 2008/120/CEE del Consiglio, del 18 dicembre 2008, che stabilisce le norme minime per la protezione dei suini (GU L 47 del 18.2.2009, pag. 5): articoli 3 e 4
	CGO 11	Direttiva 98/58/CE del Consiglio, del 20 luglio 1998, riguardante la protezione degli animali negli allevamenti (GU L 221 dell'8.8.1998, pag. 23): articolo 4

è classificato con un codice rappresentato dall'acronimo SR (Sviluppo Rurale) e una lettera (A, B, C, etc), seguito dalla numerazione di ACA (Impegni in materia di ambiente e di clima e altri impegni in materia di gestione) quando l'intervento si riferisce a tali impegni (codici uguali per tutte le Regioni).



Fonte: www.reterurale.it/flex/cm/pages/ServeBLOB.php/L/IT/IDPagina/24349

Codice	Descrizione	Spesa Pubblica	Codice	Descrizione	Spesa Pubblica
SRA01	ACA 1 - produzione integrata	7.000.000,00 €	SRG06	Attuazione strategie di sviluppo locale	56.000.000,00 €
SRA03	ACA3 - tecniche lavorazione ridotta dei suoli	20.000.000,00 €	SRG07	Cooperazione per lo sviluppo rurale, locale e smart villages	4.000.000,00 €
SRA06	ACA6 - cover crops	10.000.000,00 €	SRG08	Sostegno ad azione pilota e di collaudo dell'innovazione	6.000.000,00 €
SRA08	ACA8 - gestione prati e pascoli permanenti	4.000.000,00 €	SRG10	Promozione dei prodotti di qualità	7.500.000,00 €
SRA10	ACA10 - gestione attiva infrastrutture ecologiche	1.000.000,00 €	SRH01	Erogazione servizi di consulenza	20.000.000,00 €
SRA14	ACA14 - allevatori custodi dell'agrobiodiversità	4.000.000,00 €	SRH02	Formazione dei consulenti	1.500.000,00 €
SRA16	ACA16 - conservazione agrobiodiversità - banche del germoplasma	2.000.000,00 €	Formazione degli imprenditori agricoli, degli addetti alle imprese operanti nei settori agricoltura, zootecnia, industrie alimentari, e degli altri soggetti privati e pubblici funzionali allo sviluppo delle aree rurali		
SRA19	ACA19 - riduzione impiego fitofarmaci	4.000.000,00 €	SRH03		1.000.000,00 €
SRA20	ACA20 - impegni specifici uso sostenibile dei nutrienti	7.000.000,00 €	SRH04	Azioni di informazione	1.000.000,00 €
SRA22	ACA22 - impegni specifici risie	26.000.000,00 €	SRH05	Azioni dimostrative per il settore agricolo, forestale ed i territori rurali	4.000.000,00 €
SRA28	Sostegno per mantenimento della forestazione/imboschimento e sistemi agroforestali	1.000.000,00 €	SRH06	Servizi di back office per l'axis	1.500.000,00 €
SRA29	Pagamento al fine di adottare e mantenere pratiche e metodi di produzione biologica	45.000.000,00 €			
SRB01	Sostegno zone con vantaggi naturali montagna	85.000.000,00 €			
SRD01	investimenti produttivi agricoli per la competitività delle aziende agricole	180.000.000,00 €			
SRD02	investimenti produttivi agricoli per ambiente, clima e benessere animale	66.000.000,00 €			
SRD03	investimenti nelle aziende agricole per la diversificazione in attività non agricole	13.000.000,00 €			
SRD04	investimenti non produttivi agricoli con finalità ambientale	15.000.000,00 €			
SRD05	impianti forestazione/imboschimento e sistemi agroforestali su terreni agricoli	4.000.000,00 €			
SRD06	investimenti per la prevenzione ed il ripristino del potenziale produttivo agricolo	10.000.000,00 €			
SRD07	investimenti in infrastrutture per l'agricoltura e per lo sviluppo socio-economico delle aree rurali	7.000.000,00 €			
SRD08	investimenti in infrastrutture con finalità ambientali	17.000.000,00 €			
SRD09	investimenti non produttivi nelle aree rurali	5.000.000,00 €			
SRD10	impianti di forestazione/imboschimento di terreni non agricoli	1.000.000,00 €			
SRD12	investimenti per la prevenzione ed il ripristino delle foreste	28.000.000,00 €			
SRD13	investimenti per la trasformazione e commercializzazione dei prodotti agricoli	30.000.000,00 €			
SRD15	investimenti produttivi forestali	5.000.000,00 €			
SRE01	Inseadimento giovani agricoltori	35.000.000,00 €			
SRE04	Start up non agricole	0,00 €			
SRG01	Sostegno ai gruppi operativi PFI Agri	8.000.000,00 €			

Fonte: ALLEGATO A al Complemento per lo Sviluppo Rurale del Piano Strategico Nazionale della PAC 2023-2027 della Regione Lombardia (www.psr.regione.lombardia.it/wps/portal/PROUE/FEASR/Avvisi/ DettaglioAvvisi/Informativo/psn-pac-2023-2027-approvazione-cmpletamento-regionale)

MAPPA DEGLI ATTORI

La complessità dell’ecosistema attoriale è determinata dalla varietà delle categorie di soggetti attivi in Lombardia sul tema, in quanto il settore agro-forestale risulta oggetto di interesse e di azione sia da parte di attori pubblici alle varie scale (Commissione Europea con la PAC, MASAF, Regione Lombardia, Città Metropolitane e Province, Comuni, Comunità Montane, Parchi, etc), di attori privati e/o del privato sociale (aziende agricole, associazioni no profit, associazioni di categoria e sindacati, Fondazioni, etc) e di attori operanti nell’ambito della ricerca e della formazione (Università, Istituti di formazione superiore, etc).

Nella definizione della mappatura si è posto come obiettivo prioritario quello di individuare gli attori che hanno interesse e/o impatto sul settore agro-forestale regionale e che potrebbero essere dei riferimenti per la costruzione dei seminari di discussione delle indicazioni di policy proposte. Gli attori sono stati suddivisi secondo le seguenti categorie: Regione Lombardia, Sistema Lombardia, Istituzioni locali e sovralocali, altre Istituzioni; Fondazioni; No profit; Ricerca e formazione; Associazioni di Categoria, Sindacali, altre associazioni, Ordini; Distretti agricoli; Associazioni di aziende e Consorzi; Parchi.

Si è focalizzata l’attenzione sulla scala regionale, interpretando un ruolo maggiormente rilevante degli attori pubblici locali (Regione Lombardia, Comuni, etc) rispetto a quelli nazionali e internazionali (selezionando questi ultimi in termini di interesse per la ricerca, es. ISMEA per quanto riguarda supporto agli agricoltori e attività di assicurazione sul rischio dell’attività agricola, tema di attualità). Sono state quindi individuate le Unità organizzative delle Direzioni regionali e gli Enti strumentali del Sistema Lombardia che sono attivi con diversi ruoli rispetto al settore agroforestale: indirizzo di policy, controllo, monitoraggio, rilascio di autorizzazioni, etc.

Per quanto riguarda gli attori privati e in particolare le aziende agricole, si è valutato non opportuno e utile riportare le migliaia di soggetti presenti in Lombardia individuando invece soggetti collettivi (es. Distretti, Associazioni di categoria e sindacati, etc) in quanto considerati attori portatori di istanze territoriali e/o valoriali e/o politici che meglio rappresentano una visione regionale d’insieme dell’ecosistema attoriale.

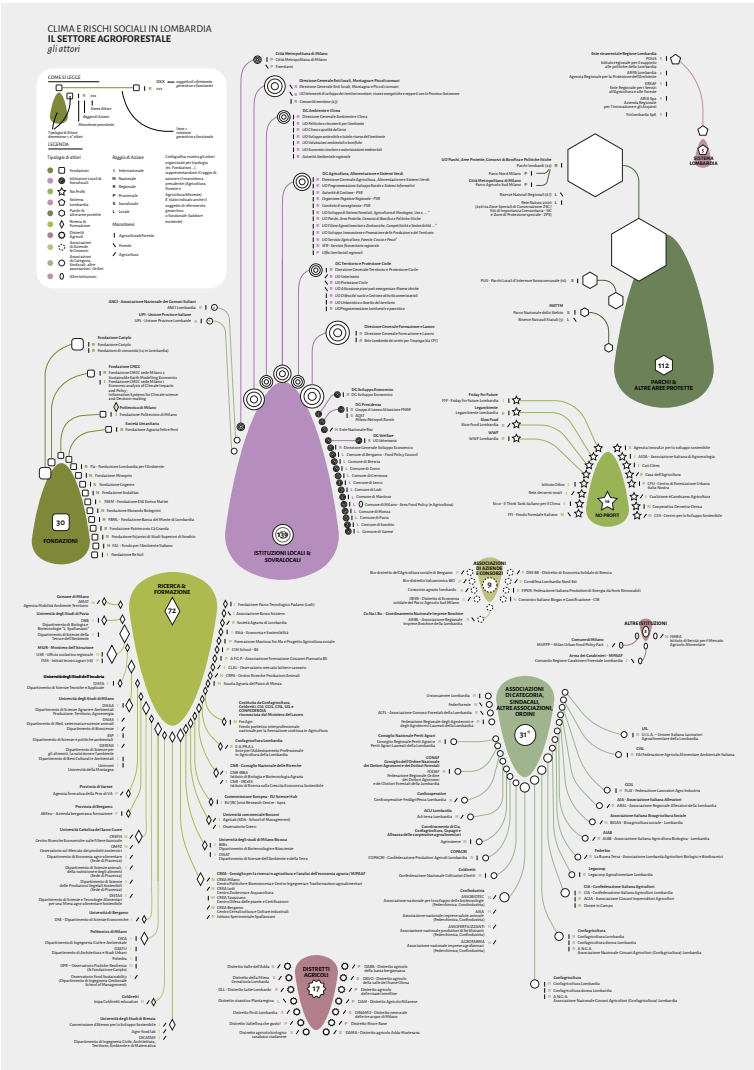
Regione Lombardia è, come noto, la regione italiana con una maggiore presenza di associazioni (no profit, Fondazioni, cooperative, etc): è stata

quindi articolata in modo dettagliato tale constituency.

Nell’ambito della categoria “Ricerca e formazione” sono stati mappati i soggetti attivi sia nell’istruzione superiore sia quelli universitari, considerando in particolare i Dipartimenti maggiormente attivi ad oggi con ricerche e studi innovativi.

Applicando tali valutazioni e criteri, sono stati mappati più di 400 attori.

Clicca sull’immagine per
visualizzarla sul sito



MAPPA DELLE RICERCHE

L'individuazione delle fonti principali è stata condotta confrontandosi con il Comitato Scientifico e approfondendo gli studi più articolati, anche in relazione alla mappatura degli attori (in relazione alla categoria "Ricerca e Formazione").

Sono stati mappati:

- Studi che si svolgono in ambito lombardo o in ambiti appartenenti perlopiù a fasce climatiche simili a quella lombarda (poiché clima e tipologie di suolo sono condizioni determinanti per il tema indagato).
- Studi che analizzano il tema della transizione climatica (in termini di minori emissioni di gas climalteranti e maggiori assorbimenti di carbonio).
- Studi conclusi³ (o comunque che hanno già prodotto risultati), disponibili e pubblicati.

Si segnala che non sono state individuate ricerche locali o comunque in territori simili alla Pianura Padana che studino in modo approfondito le interrelazioni tra i diversi valori in gioco (ambientali, economici, occupazionali). Per colmare alcuni gap informativi in alcuni casi sono stati presi in considerazione studi al di fuori del contesto lombardo (tali studi non sono stati riportati sulla mappa).

PRODUZIONE AGRICOLA

Gli studi lombardi si concentrano prevalentemente sulle relazioni tra tecniche di agricoltura conservativa⁴, emissioni di CO₂eq e assorbimento del carbonio organico. In particolare gli studi considerati si riferiscono a due filoni di ricerca:

- i progetti che valutano il contenuto di carbonio organico nel suolo e

3 In due casi sono stati inseriti studi ancora in essere, con risultati di prossima pubblicazione.

4 L'agricoltura conservativa non è normata (mentre ad esempio lo è l'agricoltura biologica). Si segnala l'attenzione particolare degli studi (e delle policy lombarde) rispetto all'agricoltura conservativa. Alcuni esperti segnalano la necessità di riferirsi all'agricoltura rigenerativa in quanto l'agricoltura conservativa potrebbe comportare un maggior utilizzo di prodotti di sintesi.

di come questo può variare in funzione dell'uso del suolo e di pratiche agronomiche, da tradursi poi in assorbimenti o rilasci di CO₂;

- i progetti basati sul calcolo dell'impronta del carbonio⁵ di processi produttivi o prodotti al fine di valutarne l'impatto in termini di CO₂ equivalente.

Le scale di analisi sono quella aziendale o regionale, a seconda dello scopo del progetto.

Gli studi relativi alla relazione tra agricoltura biologica e transizione climatica svolti in Lombardia si concentrano sul riso, coltura che prevede pratiche agronomiche differenti dagli altri cereali poiché, per le condizioni climatiche italiane, necessita di continue sommersioni, provocando ingenti emissioni di metano (sebbene vi siano colture di riso in asciutta che però sembrano provocare altri problemi in termini di bilancio idrologico complessivo).

Dai progetti analizzati sullo stock di carbonio organico nel suolo (e sulle variazioni in funzione dell'uso del suolo e delle pratiche agronomiche) si ricava che:

- L'agricoltura conservativa (indipendentemente dal tipo di suolo) rispetto a quella convenzionale aumenta il contenuto di carbonio organico nel suolo (necessario un lasso di tempo di anni), attraverso le seguenti pratiche:
 - Riduzione delle lavorazioni (operazioni meccaniche):
 - Minima lavorazione (minimum tillage, quindi a profondità molto limitate)
 - No lavorazione o semina su sodo (no tillage).
 - Avvicendamenti colturali (incremento e diversificazione delle specie coltivate).
 - Copertura permanente del suolo:
 - Cover crops
 - Residui colturali lasciati in campo.
- Il carbonio organico nel suolo aumenta anche nel caso in cui si apportino al suolo materiali organici di qualità (indipendentemente dalla gestione agronomica e dalla matrice organica utilizzata: analizzati FORSU, letame, digestato da fanghi e FORSU, digestato zootecnico).
- L'agricoltura conservativa, rispetto a quella convenzionale, implica:
 - Minor utilizzo di acqua e di combustibili fossili.
 - Riduzioni dei costi di lavorazione (- 50% per semina su sodo, - 30% per minima lavorazione).
 - Rese per ettaro uguali.
 - Aumento dell'agrobiodiversità.
- Il progetto ERSAF/AgriCO₂ltura fornisce indicazioni sui diversi stock di carbonio in funzione degli usi del suolo. I dati in Pianura Padana indicano i seguenti valori di carbonio organico (t/ha) nei primi 30 cm di suolo: prati stabili (67,5) > boschi di latifoglie e misti (61) > seminativi e colture permanenti (55,7).

5 Si segnala che l'impronta carbonica comunque è considerata da vari esperti un indicatore limitato in quanto non in grado di rappresentare tutte le problematiche di impatto sull'ambiente e sul contesto sociale.

Dai progetti analizzati sull'impronta carbonica si ricava che:

- le tecniche colturali che prevedono la minima lavorazione, così come la limitazione dell'uso di input (fertilizzanti chimici, trattamenti con prodotti erbicidi o antiparassitari) riducono in modo significativo gli impatti ambientali dovuti alle emissioni di gas serra
- i dati qualitativi (Kg di CO₂ emessa) che paragonano l'impronta carbonica di diverse colture (per alimentazione suina e colture energetiche), per una stessa coltura variano molto in base all'unità funzionale scelta (kg di CO₂ per ettaro, per kg di proteina, per kg di sostanza secca). Per diminuire le emissioni per ettaro bisogna diminuire gli input di produzione (mezzi tecnici - fertilizzanti, prodotti fitosanitari, sementi, ecc. - ed energetici), per diminuire le emissioni per kg di sostanza secca bisogna aumentare le rese per ettaro.

LE RICERCHE: CONFRONTO TRA L'AGRICOLTURA BIOLOGICA E CONVENZIONALE

Per ovviare alla mancanza di studi lombardi che mettono in relazione l'agricoltura biologica e la transizione climatica si riportano alcune ricerche che esulano dal territorio di riferimento del presente lavoro:

- uno studio americano del Rodale Institute che compara lungo un arco temporale di quarant'anni l'agricoltura biologica e quella convenzionale, in relazione ad alcuni parametri quali salute del suolo, rese, redditività economica ed emissioni di gas serra (Rodale Institute, 2011)
- uno studio che segue un esperimento sul campo della durata di 13 anni (2001-2013) presso l'azienda agricola sperimentale della Wageningen University Research di Vredepeel, nei Paesi Bassi (Schrama, 2018)
- i risultati di una meta-analisi di dati pubblicati in letteratura sui benefici dei terreni coltivati biologicamente rispetto a quelli convenzionali (Ciccarese, 2019).

Il Farming Systems Trial (FST)[®] del Rodale Institute (2011) è il più longevo confronto americano tra agricoltura biologica e convenzionale. Iniziato nel 1981 per studiare cosa accade durante la transizione tra i due sistemi, è diventato un confronto tra il loro potenziale a lungo termine. Si è focalizzato sulla produzione di mais e soia perché queste sono le colture che negli USA occupano le maggiori estensioni di terreno. Lo studio ha preso in considerazione tre tipologie di sistemi agricoli: un sistema biologico basato sul letame, un sistema biologico basato sulla rotazione tra cereali e colture di copertura costituite da leguminose e un sistema convenzionale basato su input chimici (al quale nel 2008 sono stati aggiunti mais e soia geneticamente modificati, per rispecchiare maggiormente le caratteristiche dell'agricoltura americana). Nel 2008 ciascuno dei tre sistemi è stato diviso in due per confrontare le lavorazioni tradizionali con le pratiche no-tillage. Attualmente il FST è suddiviso in 72 parcelle su 11 acri presso la sede del Rodale Institute a Kutztown in Pennsylvania.

Il risultato generale del FST dimostra che se si confrontano rendimenti, redditività economica, consumo di energia, emissioni e capacità di conservare la salute del suolo, l'agricoltura biologica dà risultati superiori rispetto a quelli dei sistemi convenzionali.

In particolare, per quanto riguarda la salute del suolo, la cui misura è la quantità di carbonio organico presente, i risultati della sperimentazione dicono che:

- i sistemi biologici hanno portato ad un aumento del carbonio nel suolo (l'aumento è stato mag-

giore nel caso del concime organico rispetto alle leguminose), il sistema convenzionale ha invece mostrato una perdita di carbonio negli ultimi anni della sperimentazione

- i terreni biologici hanno aumentato la ricarica delle falde acquifere e ridotto il ruscellamento. I volumi di acqua che percolano attraverso il suolo sono stati superiori del 15-20% nei sistemi biologici rispetto a quelli convenzionali.
- i terreni biologici immagazzinano e utilizzano l'acqua in modo più efficiente.

In relazione alle rese, le principali risultanze sono le seguenti:

- dopo i tre anni di transizione verso la produzione biologica, i campi di mais biologico hanno prodotto quanto quelli convenzionali.
- nei 30 anni di sperimentazione, le rese del mais, della soia e del grano biologici sono state equivalenti a quelle convenzionali (il grano è stato aggiunto al sistema convenzionale solo nel 2004).
- le rese del mais biologico sono state del 31% superiori a quelle convenzionali negli anni di siccità; le varietà geneticamente modificate "resistenti alla siccità" hanno registrato aumenti solo dal 6,7% al 13,3% rispetto alle varietà convenzionali (non resistenti alla siccità).
- le colture di mais e soia nei sistemi biologici hanno tollerato (senza l'aiuto di erbicidi) livelli molto più elevati di competizione con le erbe infestanti rispetto ai sistemi convenzionali, pur producendo rese equivalenti. Questo dato è particolarmente significativo se si considera l'aumento delle erbe infestanti resistenti agli erbicidi nei sistemi convenzionali e testimonia l'aumento della salute e della produttività del suolo biologico (che sostiene sia le erbe infestanti che le rese delle colture).

Per quanto riguarda la redditività economica, lo studio ha rilevato che :

- i sistemi biologici sono quasi tre volte più redditizi di quelli convenzionali (reddito netto per unità di superficie)
- i costi dei fattori produttivi marginalmente più bassi rendono i sistemi biologici economicamente competitivi rispetto a quelli convenzionali, anche senza il riconoscimento di un prezzo più elevato
- la coltura più redditizia è stata il grano biologico, quella meno redditizia il mais convenzionale prodotto senza lavorazione del terreno.

In termini di input energetici i dati del FST mostrano che:

- i sistemi biologici hanno utilizzato il 45% di energia in meno rispetto ai sistemi convenzionali.
- l'efficienza produttiva è stata del 28% superiore nei sistemi biologici rispetto a quelli convenzionali (tra questi il sistema no-till è stato il meno efficiente)

Per quanto riguarda le emissioni di gas serra, i dati FST mostrano che:

- i sistemi convenzionali emettono quasi il 40% in più di gas serra (GHG) per libbra di raccolto prodotto rispetto ai sistemi biologici.
- le maggiori emissioni di gas serra derivanti da input diretti nel sistema convenzionale provengono dalla produzione di fertilizzanti e dall'uso di carburante all'interno dell'azienda agricola
- le maggiori emissioni di gas serra da input diretti nel sistema biologico provengono dall'uso di carburante e dalle sementi.

Come detto, il FST confronta l'agricoltura biologica con quella convenzionale, ma il Rodale Institute (2020) in generale promuove quella che definisce "agricoltura rigenerativa", un approccio sistemico, personalizzato e basato sul luogo, le cui pratiche di base sono:

- diversificazione delle rotazioni colturali
- utilizzo di colture di copertura
- conservazione dei residui delle colture
- utilizzo di concimi naturali, come il compost

- pascoli altamente gestiti e/o integrazione tra colture e bestiame
- riduzione della frequenza e profondità della lavorazione del terreno
- eliminazione dei prodotti chimici di sintesi.

La tabella seguente sintetizza i dati provenienti da diversi studi sull'applicazione di tecniche di agricoltura rigenerativa (sia alla produzione agricola che al pascolo): viene mostrato il potenziale in termini di sequestro di carbonio per ettaro (carbon sequestration: variazione del carbonio nel suolo e quantità equivalente in termini di CO₂) e i valori di sequestro di CO₂ che si otterrebbero se si applicassero le tecniche di gestione elencate a tutti i sistemi di coltivazione e di pascolo (global extrapolation: valore di CO₂ assoluto e in % rispetto alle emissioni globali di CO₂ nel 2018, ovvero 37,5 Giga tonnellate, che costituiscono il 68% di tutte le emissioni di CO₂ equivalente emesse in quell'anno). Per esempio, se si adottassero le sole colture di copertura nei sistemi convenzionali su tutti i terreni coltivati, si potrebbe sequestrare il 4,35% delle emissioni annuali di CO₂. Oppure, se tutti i pascoli globali fossero gestiti secondo un modello rigenerativo come quello indicato nello studio del Midwest degli Stati Uniti [23], si potrebbe sequestrare il 114% di tutte le emissioni annuali di CO₂ (~43 Gt CO₂). In base a questi calcoli, il passaggio a livello globale della gestione delle colture e dei pascoli a sistemi rigenerativi potrebbe sequestrare più del 100% delle emissioni annuali di CO₂, estraendo il carbonio dall'atmosfera e immagazzinandolo nel suolo.

Fonte: Rodale Institute (2020)

PLACE/STUDY	MANAGEMENT PRACTICES	MAIN CROP	CARBON SEQUESTRATION (Mg ha ⁻¹ yr ⁻¹)		GLOBAL EXTRAPOLATION ^b (Gt CO ₂ yr ⁻¹)	
			C ⁺	CO ₂	CO ₂	% CO ₂ Offset
Cropland – accounts for approximately 30% of arable farmed land						
Global [16]	Cover crops <i>(global metanalysis)</i>	Various	0.32	1.17	1.63	4.35
US, Mid-Atlantic [17]	Regenerative organic system - diverse rotation	Grain crop rotation	0.85	3.12	4.34	11.6
US, Mid-Atlantic [18]	Regenerative organic system - compost utilization	Corn & Wheat	2.36	8.66	12.04	32.11
Costa Rica [19]	Multistrata agroforestry	Cacao & Poro	4.16	15.27	21.23	56.61
Mediterranean [20]	Organic amendments	Olives	5.3	19.45	27.05	72.13
Global Tropical* [21]	Cover crops and green manure	Corn	5.8	21.28	29.60	78.93
US, Southwest* [22]	Fungal compost <i>(BEAM system)</i>	Carbon <i>(no traditional crop)</i>	10.27	37.69	52.41	139.76
Grazing or rangeland – accounts for approximately 70% of arable farmed land						
US, Midwest [23]	Regenerative grazing system (AMP)	Beef	3.59	13.17	43.04	114.77
US, Southeast [24]	Rotational grazing	Dairy	8.0	29.36	133.37	355.65

Lo studio “Crop yield gap and stability in organic and conventional farming systems” (Schrama, 2018) segue un esperimento sul campo della durata di 13 anni (2001-2013) presso l'azienda agricola sperimentale della Wageningen University Research di Vredepeel, nei Paesi Bassi, calcolando le rese annuali di tre sistemi di agricoltura realizzati in condizioni di suolo identiche: un sistema di agricoltura biologica basato sul letame di fattoria (assenza di pesticidi/erbicidi/fungicidi ed elevato apporto di sostanza organica) e due sistemi di agricoltura convenzionale, uno basato sull'applicazione di liquami suini come fertilizzante, l'altro di fertilizzanti minerali. Le principali colture analizzate sono: patate, piselli, porri, orzo, barbabietole da zucchero e mais, presenti ogni anno e seguite da una coltura di copertura. Il divario di resa registrato all'inizio dell'esperimento tra il sistema biologico e i due sistemi convenzionali si riduce con l'avanzare del tempo dalla conversione in biologico. È interessante notare che questa riduzione è ottenuta utilizzando almeno il 23% in meno di input di N nel sistema biologico (maggiore efficienza di apporto di N da parte dell'agricoltura biologica rispetto agli altri sistemi agricoli). Inoltre, nel 2013 tutti i parametri fisici del suolo (sostanza organica, stabilità degli aggregati, contenuto di umidità) avevano valori più elevati nel sistema organico rispetto a entrambi i sistemi convenzionali.

Nell'articolo “Dall'agricoltura biologica un aiuto per il clima” (Ciccarese, 2019) si riportano i risultati principali di una meta-analisi di dati pubblicati in letteratura: rispetto a quelli convenzionali, i terreni coltivati biologicamente portano benefici in relazione alla concentrazione di sostanza organica, allo stock di carbonio e al tasso di sequestro di carbonio, nelle seguenti misure:

- 0,2% in più di sostanza organica nel suolo
- 3,50 tonnellate di carbonio stoccate nel terreno per ettaro
- 0,45 tonnellate di carbonio sequestrate annualmente per ettaro.

Questi dati sono stati confermati da ricerche successive.

PRODUZIONE ZOOTECNICA

Dato il rilevante impatto ambientale ed economico, si è scelto di focalizzare la mappatura degli studi sui bovini da latte (in linea con la tradizionale vocazione cerealicolo-zootecnica della pianura lombarda) e sui suini. A questi sono stati aggiunti anche i bovini da carne che, sebbene impattino in misura minore sull'effetto serra antropogenico, sono diffusi nella regione lombarda e possono essere oggetto di allevamento biologico.

Per valutare le opportunità per la mitigazione dei cambiamenti climatici da parte degli allevamenti, la metodologia adottata per la mappatura delle ricerche è stata focalizzata sulla riduzione delle emissioni più rilevanti per il settore zootecnico (CH_4 , N_2O , CO_2) e sull'aumento del carbonio stoccato, individuando gli studi che sono stati sviluppati nella zona di pianura della Lombardia e/o in territori simili. In un solo caso è stato considerato uno studio non focalizzato territorialmente ma selezionato in quanto presenta stime utilizzabili sull'intero territorio italiano e un approccio complessivo molto articolato e innovativo (progetto coordinato dalla Fondazione CMCC). Non sono state individuate ricerche locali o comunque in territori simili alla Pianura Padana che studino in modo approfondito la relazione tra carico antibiotico del bestiame ed emissioni climalteranti: è stata infatti individuata una sola ricerca a livello internazionale pubblicata nel 2016 sulla rivista inglese *Proceedings of the Royal Society* (Hammer et al., 2016) che ha fatto emergere maggiori emissioni di metano dal letame di bovini trattati con antibiotici, che inoltre influiscono sulla composizione dei microbi negli intestini degli scarabei stercorari (la ricerca non è riportata né nel narrativo né nella mappa).

L'impatto più rilevante per le emissioni climalteranti prodotte dalle aziende zootecniche è causato dai mangimi, in particolare quelli acquistati (per esempio nel caso della soia coltivata in sud America, alcune ricerche calcolano anche le emissioni dovute al cambiamento di uso del suolo per la conversione di foreste a campi coltivati). Per i bovini, questi hanno un impatto rilevante sulle emissioni enteriche.

Le azioni che influiscono sulla riduzione delle emissioni climalteranti sono:

- Il miglioramento della dieta (per esempio miglioramento dell'efficienza metabolica della proteina dietetica; per i bovini, diete che limitino l'azione dei microrganismi ruminali produttori di metano; alimentazione di precisione).
- La sostituzione delle fonti proteiche acquistate con quelle autoprodotte (aumento della superficie a leguminose foraggere), con alcune limitazioni (per esempio i disciplinari per le produzioni DOP dei suini non sempre consentono l'applicazione di questa misura nella fase dell'ingrassamento).
- Gestione e stoccaggio delle deiezioni (es. copertura delle vasche di stoccaggio).
- Il miglioramento gestionale dei reflui per la fertilizzazione dei campi (trattamento con prodotti microbiologici, tempi e dosi di applicazione, utilizzo di tecnologia di precisione per l'applicazione in campo, interrimento liquame durante la distribuzione).

- Utilizzo delle deiezioni per produrre energia rinnovabile.

Negli studi esaminati, come esempi di pratiche di riduzione delle emissioni climalteranti, vengono anche considerate le pratiche di produzione agricola legate al tema dell'allevamento, sia in ottica land-based-approach (ovvero come strumenti di mitigazione e compensazione su scala locale nelle immediate vicinanze delle fonti emmissive) sia in ottica di valutazione complessiva dei sistemi foraggeri (ovvero la valutazione complessiva degli effetti positivi sul carbon stock di prati e pascoli in connessione con la produzione e l'uso dei foraggi negli allevamenti): in particolare vengono indicate le tecniche di agricoltura rigenerativa e il minor utilizzo dei fertilizzanti di sintesi.

Il miglioramento delle prestazioni produttive è un altro tema analizzato: in particolare per i suini le dimensioni aziendali rilevanti (allevamenti intensivi) e l'efficienza produttiva (peso vivo per animale) diminuiscono le emissioni per peso vivo del suino e l'utilizzo di suolo, ma implicano maggior utilizzo di acqua ed energia da combustibili fossili oltre a essere negativi per il benessere animale.

Alcuni studi sviluppano strumenti per la valutazione del livello di emissioni (GHG e NH_3) in azienda e per valutare il contributo degli interventi migliorativi.

Altre evidenze specifiche per le diverse tipologie di allevamento sono:

- per i suini:
 - le maggiori emissioni climalteranti sono concentrate nelle fasi di svezzamento e accrescimento/ingrasso
 - nel settore del prosciutto crudo le filiere agroalimentari locali sono maggiormente in grado di generare valore aggiunto e strategie di resilienza rispetto alle filiere globali;
- per i bovini da latte, alcune considerazioni sulla riduzione delle emissioni nelle stalle: le corsie (superfici pavimentate) rispetto alle cuccette provocano più emissioni di NH_3 e meno emissioni di CH_4 e N_2O ; l'aumento della frequenza di passaggio dei raschiatori nelle corsie diminuisce le emissioni di CH_4 e NH_3 (ma non ha impatto sulle emissioni di N_2O); i ventilatori migliorano il benessere animale ma non hanno impatto sulle emissioni.

In generale, dall'analisi degli studi presentati e di altri, anche a livello internazionale, emerge che impronta carbonica e metodologia LCA siano strumenti utili per stimare l'impatto climalterante e le potenzialità migliorative di tecniche di mitigazione negli allevamenti ma andrebbero valutate in modo integrato con considerazioni e indicatori quali-quantitativi legati ai contesti locali e riferiti a sfere di analisi più complesse (impatti sociali, culturali, economici, etc) per evitare riduzionismi nei risultati comparativi (ad es. tra allevamenti intensivi ed estensivi, etc).

FORESTAZIONE

Gli studi analizzati sono prevalentemente articoli accademici che coinvolgono l'intero territorio regionale o alcune sue zone specifiche e che si focalizzano sul ruolo delle foreste nella sottrazione della CO_2 atmosferica e nel suo accumulo e le forme di gestione atte a massimizzarlo.

E' sembrato utile riportare nel narrativo (ma non sulla mappa) due articoli che, pur riferendosi a contesti geografici differenti (nord est della Cina e ambienti mediterranei), sono stati ritenuti di particolare interesse per la capacità di mettere in relazione forme di gestione forestale e accumulo di carbonio, suggerendo pratiche applicabili anche alle tipologie vegetazionali lombarde.

La letteratura relativa alla relazione tra forestazione e decarbonizzazione all'interno del territorio lombardo si concentra su tre filoni principali:

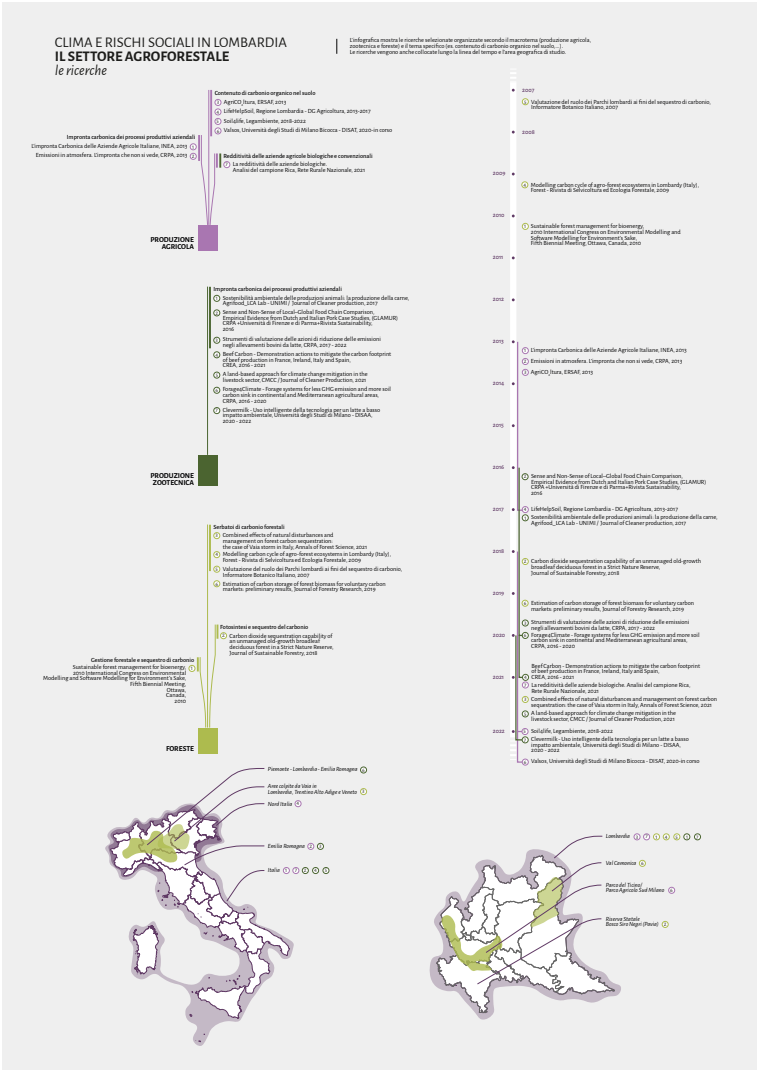
- 1. Il tema dei serbatoi di carbonio (capacità di stoccaggio del carbonio di diversi ecosistemi forestali);
- 2. La relazione tra la gestione forestale e il sequestro di carbonio;
- 3. La relazione tra la fotosintesi e il sequestro di carbonio .

Sintesi delle principali evidenze emerse dagli studi mappati

- Le categorie forestali che contribuiscono maggiormente all'assorbimento di CO₂ a livello regionale sono quelle con maggiori estensioni (latifoglie prealpine e alpine, come castagneti, orno-ostrieti e faggete).
- Il tasso medio regionale di assorbimento potenziale delle superfici forestali lombarde è di 8,76 MtCO₂/anno (circa un decimo delle emissioni antropiche annuali della Regione).
- I Parchi regionali della Lombardia si caratterizzano per dotazioni di carbonio nei suoli e nella vegetazione sul totale regionale (rispettivamente del 21.5% e 23.6%) leggermente superiori rispetto alla superficie occupata (21.0%).
- Una gestione multifunzionale delle foreste che comprenda oltre al ruolo produttivo anche quello paesaggistico, di protezione dei versanti e di tutela degli ecosistemi con la loro biodiversità, potrebbe portare ad un incremento dell'assorbimento di carbonio (nel caso specifico – boschi di proprietà pubblica della Val Camonica - un incremento di 2,48 t/ha su un valore di 76,02 t di C/ha).
- La foresta non gestita garantisce un assorbimento superiore di carbonio e un suo migliore stoccaggio; consente inoltre di generare migliori servizi ecosistemici regolativi.
- La gestione della foresta (diverse forme di taglio) rappresenta sempre una riduzione dell'assorbimento netto di carbonio e un disturbo al funzionamento regolare dell'ecosistema. Tecniche differenti di diradamento hanno ricadute diverse in termini di accumulo e conservazione del carbonio. Le operazioni di taglio e raccolta determinano una riduzione del carbonio del suolo stimata in un valore medio del 37%.
- Le diverse forme di gestione hanno effetti sull'accumulo di carbonio: la foresta coetanea (forma che si tende a privilegiare per ragioni economiche) dà effetti peggiori di quella disetanea; il ceduo dà effetti peggiori dell'alto fusto (la conversione dei cedui ad alto fusto può portare ad un ulteriore incremento di carbonio stoccato di circa 1 tonnellata ad ettaro).
- Una foresta con maggiore biodiversità di specie arboree sviluppa meglio tutte le proprie funzioni ecosistemiche, tra cui l'assorbimento e lo stoccaggio del carbonio, rispetto a foreste mono o pauci specifiche.
- La riforestazione ha:

- Effetto positivo se il punto di partenza è un suolo agricolo: incremento del carbonio del 22% nei primi 20 anni e del 117% dopo 100 anni;
- Effetto negativo se il punto di partenza è un prato stabile: dopo 20 anni si ha addirittura una riduzione del carbonio del 4%.
In generale, molto dipende dai criteri con cui viene effettuata la riforestazione (utilizzo di più specie, la loro provenienza locale e non alloctona, la disposizione sparsa e non lineare).
- L'agroforestazione ha effetti positivi sull'arricchimento di carbonio nel suolo e sulla biodiversità delle comunità del suolo stesso.

Clicca sull'immagine per
visualizzarla sul sito



IL RIUTILIZZO DEI RIFIUTI ORGANICI DELLA CITTÀ (FORSU E FANGHI)

Il tema del riutilizzo di prossimità dei rifiuti si può inquadrare all'interno dei concetti di economia circolare e bioeconomia, ovvero della prospettiva emergente della bioeconomia circolare, ormai presente tanto nel dibattito accademico-scientifico, quanto in quello pubblico nazionale e internazionale.

Il riciclo di FORSU e fanghi (le due matrici considerate nella seconda parte di questo report) è strategico sia per la salute del suolo sia in relazione alla decarbonizzazione. Infatti si caratterizza per la generazione di prodotti (compost, biogas e biometano) che possono essere reimmessi in ciclo nelle attività ordinarie, sostituendo prodotti omologhi di sintesi o combustibili fossili e, nel caso del compost, contribuendo a migliorare le caratteristiche dei suoli e dei servizi ecosistemici ad essi associati.

Il suolo sta perdendo sostanza organica e necessita di sempre maggiori quantità di fertilizzanti per assicurare la produzione agricola; la produzione di fertilizzanti di sintesi:

- è energeticamente dispendiosa (richiede circa il 2% dell'energia totale utilizzata nel mondo (Adani, 2022);
- ha un costo crescente (anche a causa dell'attuale conflitto, essendo Russia e Ucraina rispettivamente primo ed ottavo esportatore mondiale di urea, il fertilizzante azotato più comunemente usato al mondo);
- si basa su nutrienti di origine fossile in via di esaurimento (il fosforo, concentrato in alcuni Paesi come Marocco e Cina);
- produce emissioni climalteranti (l'ammoniaca, che è alla base dei fertilizzanti azotati, si produce prevalentemente a partire da idrogeno ricavato da metano, con conseguente produzione di CO₂; ad esempio, la produzione e l'utilizzo di urea comporta l'emissione di 5,15 kg CO₂ eq/kg; (Soil4life, 2019).

Anche al fine di garantire sicurezza alimentare è quindi vitale riutilizzare le matrici organiche, perché questa è l'unica soluzione che consente di recuperare tutti gli elementi preziosi in esse contenuti; l'incenerimento con recupero energetico (giustificato per esempio nel caso dei fanghi di depurazione con il recupero del fosforo) implica la perdita di diverse sostanze (prima di tutto carbonio e azoto); è quindi percorribile solo per i materiali contenenti sostanze indesiderate in concentrazione tale che non possono trovare impiego in agricoltura (Ciavatta, 2022). Infatti, i potenziali

benefici del reimpiego delle matrici organiche, sono strettamente correlati alla qualità e quantità delle sostanze distribuite al suolo e alle caratteristiche chimico-fisiche del suolo stesso (Soil4life, 2019).

Nel 2020 il compost ha raggiunto una produzione di oltre due milioni di tonnellate l'anno (si tratta della produzione complessiva di compost, derivato anche da matrici diverse dalla FORSU) e si sta evolvendo nella produzione di una diversità di fertilizzanti organici (si citano ad esempio concimi organici, concimi organo-minerali, substrati, ecc.), grazie anche agli effetti attesi dell'attuazione del Regolamento UE sui Fertilizzanti. L'applicazione del compost aumenta il contenuto di sostanza organica nei suoli, migliorando così le caratteristiche fisiche dei terreni (maggiore porosità, maggiore contenuto di acqua disponibile, aumento della velocità di infiltrazione dell'acqua) e prevenendo i fenomeni di desertificazione ed erosione. Nel compost sono presenti anche i principali elementi nutritivi (K, P e N) in forma organica, quindi non prontamente disponibili per le piante ma mineralizzati gradualmente e lentamente. L'utilizzo del compost sostituisce inoltre quello degli ammendanti di sintesi, evitando picchi di concentrazione delle forme inorganiche solubili dell'azoto, potenzialmente dilavabili (e quindi pericolose per l'inquinamento della falda).

Sempre nel 2020 il biometano, prodotto soprattutto a partire da FORSU, ha raggiunto i 100 milioni di m³ e promette di arrivare a 250-300 milioni di metri cubi l'anno entro il 2025 (il volume indicato si riferisce a biometano proveniente interamente da rifiuti, e prevalentemente da FORSU): numeri inimmaginabili fino a qualche anno fa, che pongono l'Italia in una posizione di forte vantaggio rispetto a Paesi europei con caratteristiche simili (per posizione geografica, abitanti, reddito pro-capite e stili di vita) come ad esempio Francia, Spagna e Germania (Centemero, 2022)

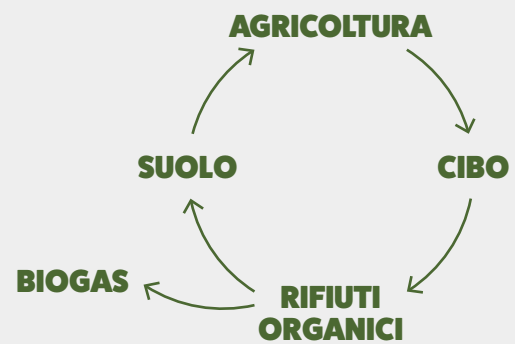
Ora sono necessarie politiche attive di sostegno ai diversi anelli della filiera, a partire dal supporto ai fertilizzanti organici e al loro ruolo nel ridare (o preservare) fertilità ai suoli, nonché di contribuire con lo stoccaggio di carbonio stabile nei suoli al contrasto alle emissioni di gas climalteranti.

GLI AMMENDANTI COMPOSTATI DERIVATI DAL
TRATTAMENTO BIOLOGICO DEI RIFIUTI

Esistono diverse tipologie di compost, a seconda delle matrici sottoposte a trattamento biologico. La tabella seguente ne schematizza i volumi, le caratteristiche e i diversi impieghi (determinati dalla diversa salinità).

Fonte: CIC (analisi condotte nel 2020)

	ACV (ammendante compostato verde)	ACM (ammendante compostato misto)	ACF (ammendante compostato coi fanghi)
Matrici in ingresso	scarti di manutenzione del verde ornamentale (es. sfalci d'erba, ramaglie, potature) sanse vergini (disoleate o meno) o esauste residui delle colture altri rifiuti di origine vegetale	frazione organica dei rifiuti urbani proveniente da raccolta differenziata (es. rifiuto alimentare di cucine e mense) digestato da trattamento anaerobico (con esclusione di quello proveniente dal trattamento di rifiuto indifferenziato) rifiuti di origine animale, compresi liquami zootecnici rifiuti di attività agroindustriali rifiuti provenienti da lavorazione del legno non trattato rifiuti provenienti da lavorazione del tessile naturale non trattato matrici previste per l'ACV	reflui fanghi matrici previste per ACM
Caratteristiche			
Carbonio organico (%ss)	27,6	31,6 (23,6 per DA+compostaggio)	buona dotazione
N (%ss)	1,8	2,4 (2,2 per DA+compostaggio)	2
P (% P ₂ O ₅ ss)	0,9	1,1 (1,5 per DA+compostaggio)	1,5
K (% K ₂ O ss)	1,3	1,5 (2,0 per DA+compostaggio)	1,5
salinità	bassa salinità	elevata salinità	media salinità
Quantitativi prodotti, anno 2020	549.000	1.213.000	427.000
Impieghi principali (%)			
agricoltura	62%	79%	95%
terricci	18%	9%	
manutenzione del verde	11%		



IL RICICLO DI FORSU E FANGHI (MATRICI ORGANICHE) È STRATEGICO

Produzione di **BIOGAS** e **BIOMETANO**
(sostituzione di combustibili fossili)

Produzione di **COMPOST (C, P, N, K)**

Elementi fertilizzanti (P, N, K)

Carbonio organico

DECARBONIZZAZIONE

SOSTITUZIONE DI FERTILIZZANTI DI SINTESI,

LA CUI PRODUZIONE È:

ENERGETICAMENTE DISPENDIOSA

(2% dell'energia totale utilizzata
nel mondo)

FONTI DI GHG

(produzione e utilizzo di
1 kg di urea implica 5,15 kg di CO₂eq)

COSTOSA

**BASATA SU MATERIE PRIME
DI ORIGINE FOSSILE
IN VIA DI ESAURIMENTO (P)**

**MAGGIORE
SICUREZZA
ALIMENTARE**

**PREVENZIONE DI FENOMENI
DI DESERTIFICAZIONE
ED EROSIONE**

**MIGLIORAMENTO
DELLE CARATTERISTICHE
DEI SUOLI**

(che stanno perdendo sostanza organica)

LA FRAZIONE ORGANICA DEI RIFIUTI SOLIDI URBANI

La frazione organica dei rifiuti solidi urbani (FORSU) è costituita dall'insieme dei quantitativi di rifiuti biodegradabili prodotti da cucine e mense, dalla manutenzione di giardini e parchi, dalla raccolta presso i mercati e dai rifiuti biodegradabili destinati alla pratica del compostaggio domestico, anche se questi ultimi non sono conferiti al sistema di raccolta (ISPRA, 2021). Sono inclusi nella frazione organica anche i rifiuti di manufatti e imballaggi compostabili certificati secondo la norma UNI EN 13432:2002.

L'importanza della FORSU in ottica di economia circolare è sintetizzabile in due punti:

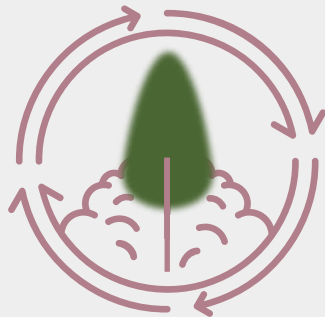
- Raggiungere i nuovi obiettivi riciclo fissati dall'Europa: in Italia la FORSU è la quota più rilevante dei rifiuti raccolti in modo differenziato (nel 2020 si attesta sui 7,2 milioni di tonnellate, il 39% del totale dei rifiuti differenziati), la sua separazione è obbligatoria a livello nazionale dal primo gennaio 2022 (l'Europa chiedeva il 2023) ed è fondamentale per il raggiungimento dei target di riutilizzo e riciclo dei rifiuti urbani fissati dalla direttiva UE 2018/851¹ (55% in peso al 2025; 60% al 2030, 65% al 2035). Il recepimento della direttiva stravolge completamente il paradigma degli obiettivi da raggiungere: l'Italia si era dotata, già con la prima normativa quadro sui rifiuti, di obiettivi minimi di raccolta differenziata per i rifiuti urbani, incrementati con successivi decreti fino al 65%²; alla raccolta differenziata si sostituisce ora il concetto di riciclo, inserito nella normativa nazionale per la prima volta con ambiziosi obiettivi che, sebbene riferiti ai rifiuti urbani nel loro complesso, responsabilizzano indubbiamente i gestori di rifiuti organici visto il rilevante peso di questa frazione nella composizione del rifiuto urbano. Il concetto di riciclo vive di un connubio indissolubile con la raccolta differenziata, con la qualità dei rifiuti raccolti e con l'efficienza degli impianti di trattamento. Nonostante l'Italia sia un Paese virtuoso nel campo delle raccolte differenziate (questo vale per tutte le filiere, dal vetro alla carta, dalla plastica all'umido) ora è l'intera filiera dei rifiuti urbani (produttori e riciclatori) responsabile del conseguimento degli obiettivi di riciclo. Pertanto, si deve lavorare a monte per massimizzare la qualità della raccolta (coinvolgimento dei comuni, dei cittadini con

1 Recepita con DECRETO LEGISLATIVO 3 settembre 2020, n. 116

2 Fissato per il 2012 dal D.Lgs 152/2006

F O R S U

Frazione Organica Rifiuti Solidi Urbani



IMPORTANTE PER RAGGIUNGERE I NUOVI OBIETTIVI RICICLO FISSATI DALL'EUROPA

in Italia la FORSU è la quota più rilevante dei rifiuti raccolti in modo differenziato

ed è fondamentale per il raggiungimento dei target di riutilizzo e riciclo dei rifiuti urbani fissati dalla direttiva UE 2018/851



IMPORTANTE PER CONTRIBUIRE A MIGLIORARE LA QUALITÀ DEI SUOLIE PER SUPPORTARE LA DECARBONIZZAZIONE



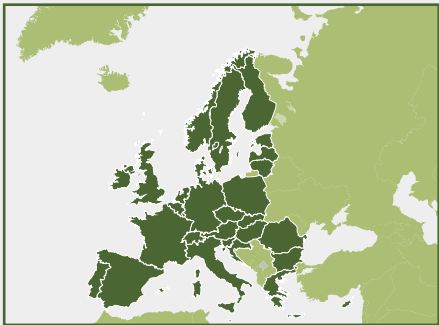
idonea comunicazione) e a valle per minimizzare gli scarti di produzione (sostegno agli impianti esistenti e creazione di nuovi impianti sul territorio) (Centemero, 2022).

- Contribuire a migliorare la qualità dei suoli e per supportare la decarbonizzazione (si veda l'introduzione sul riutilizzo delle matrici organiche).

IL TRATTAMENTO DELLA FORSU

La FORSU, quando raccolta separatamente, viene sottoposta a trattamento biologico, che può consistere in un processo di solo compostaggio (decomposizione in presenza di ossigeno) o di digestione anaerobica (decomposizione in assenza di ossigeno) e post-compostaggio (finissaggio) negli impianti integrati anaerobico/aerobico. Negli impianti di compostaggio la frazione organica viene trasformata in ammendante compostato misto (ACM), un prodotto che, utilizzato in agricoltura e nel florovivaismo, serve a reintegrare la sostanza organica nel suolo e ad apportare a quest'ultimo i principali elementi fertilizzanti (azoto, fosforo e potassio). Negli impianti integrati, la prima fase è costituita dalla digestione anaerobica, in cui la frazione organica viene parzialmente trasformata in biogas (composto indicativamente per il 50- 70% da metano e per il 30-50% da CO₂, con presenza di vapor d'acqua, H₂S, N₂, H₂, O₂). Dopo un processo di cleaning (separazione delle impurità), il biogas viene impiegato prevalentemente ai fini energetici per la produzione di energia elettrica, termica o cogenerativa, sia per i fabbisogni interni degli impianti che l'hanno prodotto, sia per l'immissione in rete. La biomassa che non è stata convertita in biogas (il digestato, che conserva la classificazione di rifiuto) viene sottoposta ad un processo di compostaggio e trasformata quindi in ammendante compostato. In alcuni impianti di digestione anaerobica, attraverso un processo di upgrading, si separa l'anidride carbonica dal biogas e si produce biometano, utilizzato come biocarburante per autotrazione (per esempio per i veicoli di raccolta dei rifiuti, riducendo l'impatto in termini di gas serra rispetto alle motorizzazioni convenzionali a benzina e diesel) o immesso nella rete gas nazionale. Da una tonnellata di umido si producono indicativamente 80m³ di biometano e 180/200 kg di compost (il resto è acqua e scarto). Negli ultimi anni si è assistito ad un aumento degli impianti che utilizzano la tecnologia di trattamento integrato anaerobico/aerobico, grazie anche alla riconversione (revamping) di alcuni impianti di compostaggio già esistenti, riconversione dovuta anche agli incentivi per la produzione di biometano (Està, 2020).

SCALA EUROPEA



2020
EU27 + SVIZZERA
+ NORVEGIA + REGNO UNITO
71 MILIONI
DI TONNELLATE DI FORSU

72 kg/persona/anno
trattati con compostaggio
48kg/persona/anno
trattati con digestione
anaerobica

21,1 MILIONI
DI TONNELLATE DI COMPOST
PRODOTTO



l'agricoltura è il mercato di sbocco
dominante
MA
prezzo medio di 10 euro/ton
è decisamente al di sotto del reale
potenziale del prodotto

SCALA NAZIONALE



2020
7,2 MILIONI
DI TONNELLATE DI FORSU

88,3 kg/persona/anno
intercettazione pro capite di umido

9 MILIONI
DI TONNELLATE NEL 2025

I VOLUMI DELLA RACCOLTA DIFFERENZIATA DELLA FORSU E DEI RELATIVI PRODOTTI

Scala europea

Secondo l'ECN Data Report 2022 (Compost and digestate for a circular bioeconomy) nell'anno 2020 (ma per alcuni Paesi i dati si riferiscono al 2019) in Europa (EU27 + Svizzera, Norvegia e Regno Unito) sono state trattate 71 milioni di tonnellate di FORSU (60 milioni nella EU27 e 11 milioni in Svizzera, Norvegia e Regno Unito). Il dato include la raccolta municipale e quella delle utenze commerciali/industriali, esclude invece il settore agricolo e i fanghi di depurazione. Il 59% (42 milioni di tonnellate) è stato trattato negli impianti di compostaggio, il 41% (29 milioni di tonnellate) negli impianti di digestione anaerobica.

I dati del rifiuto trattato pro-capite sono molto diversi da Paese a Paese, e variano da un minimo di 28 kg/persona/anno ad un massimo di 328 kg/persona/anno. La media si attesta sui 72 kg/persona/anno trattati con compostaggio e 48 kg/persona/anno trattati con digestione anaerobica.

Per quanto riguarda la sola raccolta municipale, sono state trattate 47 milioni di tonnellate di rifiuto organico, di cui 38 nella EU27 (il 70% in compostaggio e il 30% in digestione anaerobica).

Sono state prodotte 21,1 milioni di tonnellate di compost (17,6 nella EU a 27), per le quali l'agricoltura è il mercato di sbocco dominante, ma il prezzo medio di 10 euro/ton (per la sostanza fresca) è decisamente al di sotto del reale potenziale del prodotto (l'agricoltura è il principale sbocco anche per il digestato, il cui smaltimento avviene o gratuitamente o a fronte di un pagamento). Il 25% di tutto il compost prodotto (EU27 + Svizzera, Norvegia e Regno Unito) è stato certificato dalla ECN's Quality Assurance Scheme: per questi 5,3 milioni di tonnellate di compost il valore dei nutrienti contenuti (KPN) è pari a 63 euro/ton (sostanza fresca).

Scala nazionale

Nel 2020 sono state raccolte quasi 7,2 milioni di tonnellate di FORSU (7,175 milioni di tonnellate), così ripartite: il 68,4% è costituito dalla frazione umida da cucine e mense (4,9 milioni di tonnellate), il 27,1% (1,9 milioni di tonnellate) dai rifiuti biodegradabili provenienti dalla manutenzione di giardini e parchi (frazione verde), il 3,8% (275 mila tonnellate) dai rifiuti avviati al compostaggio domestico e lo 0,7% (circa 49 mila tonnellate) dai rifiuti dei mercati (ISPRA, 2021).

Rispetto all'anno precedente, si è verificata una riduzione complessiva della raccolta differenziata della frazione organica di circa 125 mila tonnellate, in controtendenza rispetto ai dati degli ultimi 10 anni, durante i quali la crescita media era stata del 7% all'anno (figura 1). La maggior parte del calo di intercettazione, circa 87 mila tonnellate, è imputabile alla frazione verde, mentre quello della frazione umida è stato di 38 mila tonnellate. In entrambi i casi si tratta degli effetti del periodo pandemico: per la frazione verde, soprattutto nella stagione primaverile, i centri di raccolta comunale

Fig. 1 – Andamento della raccolta differenziata della frazione umida e verde (anni 2010-2020)

Fonte: Elaborazione CIC da Catasto Nazionale Rifiuti ISPRA

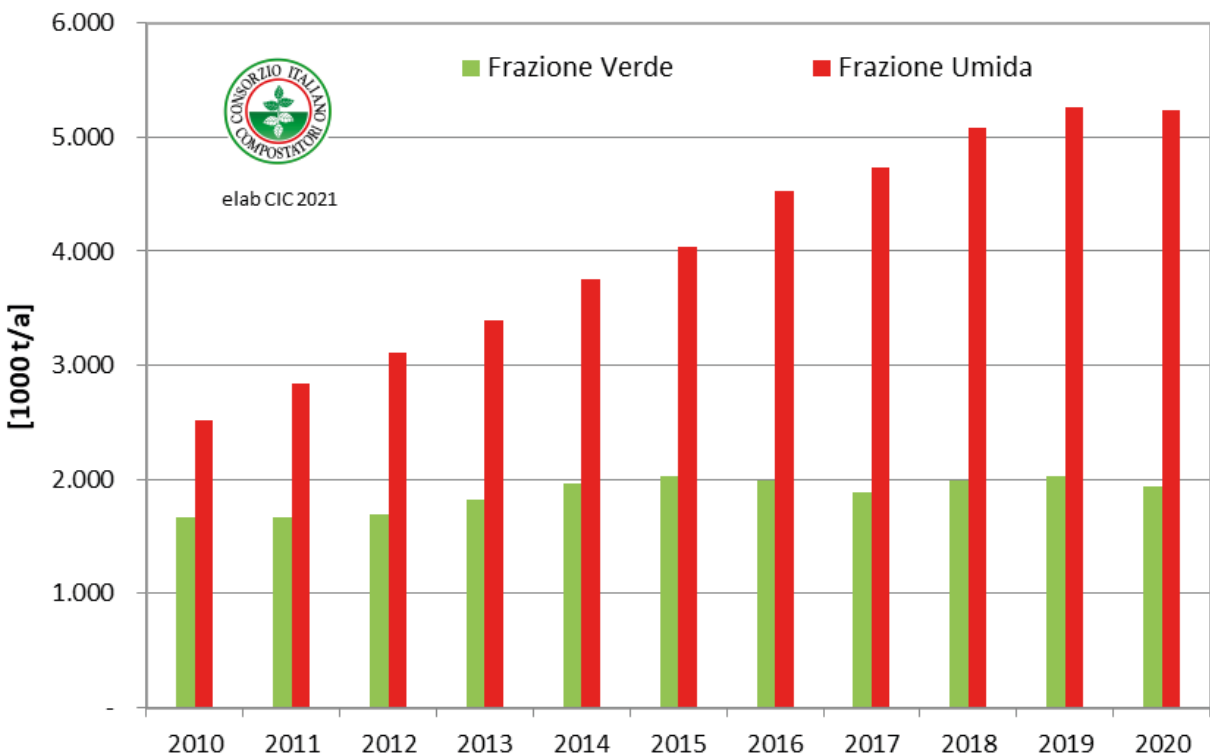
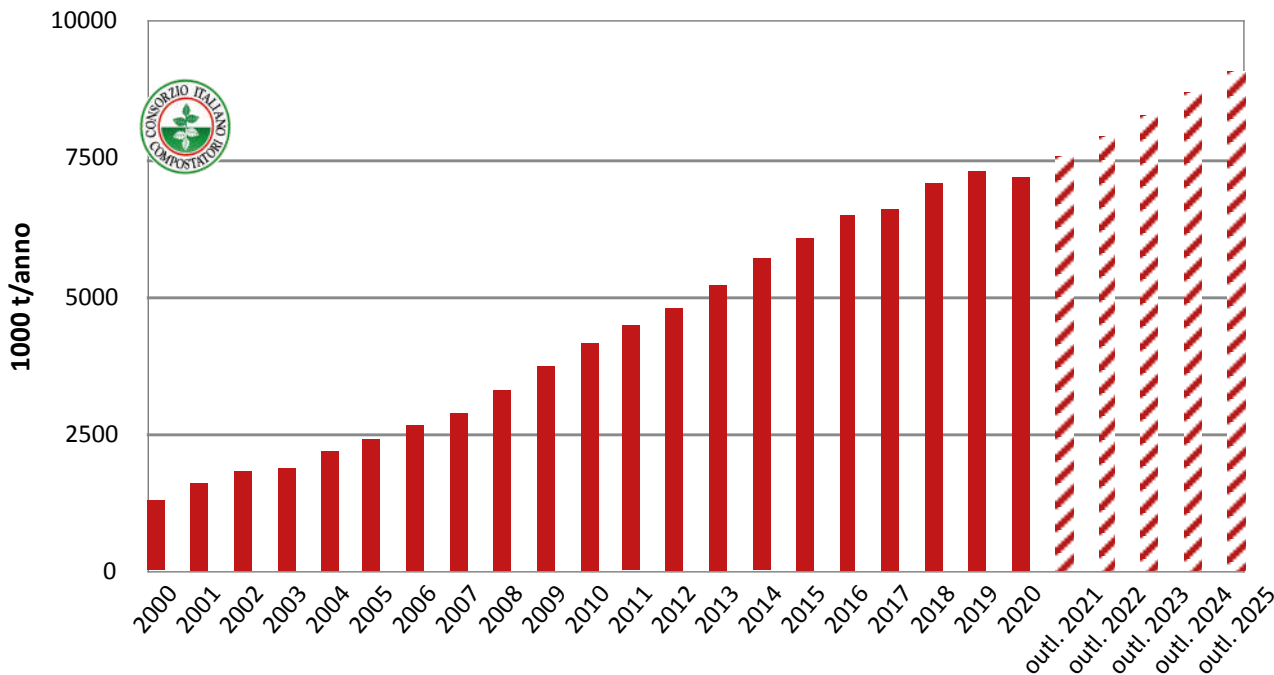
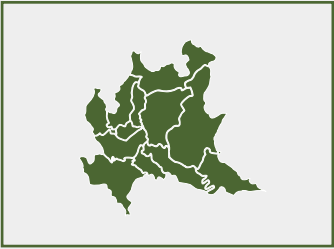


Fig. 2 - Evoluzione della raccolta differenziata della frazione organica (umido e verde) in Italia, e previsioni di crescita fino al 2025

Fonte: Elaborazione CIC da dati ISPRA 2021 e ISTAT 2020



SCALA LOMBARDA



2020
1,24 MILIONI
DI TONNELLATE DI FORSU
SU TOTALE RIFIUTI URBANI
16,5% = UMIDO
9,8% = VERDE

80% DEI COMUNI
RACCOLGONO LA FORSU
40 kg/persona/anno
intercettazione pro capite di umido

CITTÀ METROPOLITANA
DI MILANO



2020
339.414 TONNELLATE
DI FORSU
TOTALE RIFIUTI URBANI
1,44 MILIONI DI TONNELLATE

COMUNE DI MILANO



2020
127.803 TONNELLATE
DI FORSU
TOTALE RIFIUTI URBANI
608.412 TONNELLATE

2021
133.332 TONNELLATE
DI FORSU
TOTALE RIFIUTI URBANI
626.796 TONNELLATE

hanno impedito o limitato l'accesso agli utenti, e l'attività di manutenzione del verde pubblico e privato ha segnato un certo rallentamento (per questa frazione esiste in Italia un ulteriore problema, corretto solo a settembre 2020, per cui una norma nazionale del 2016 disallineata con le politiche ambientali comunitarie escludeva la frazione verde dal campo di applicazione della normativa sui rifiuti, determinando grande confusione); per quanto riguarda invece la frazione umida, la diminuzione della popolazione residente tra il 2019 e il 2020 ha certamente contribuito in modo determinante. La conseguenza diretta è che l'intercettazione pro-capite di umido risulta sostanzialmente invariata rispetto al 2019, collocandosi intorno a 88,3 kg/abitante (Centemero, 2022).

Confidando nella ripresa del percorso di completamento della raccolta della frazione umida nei comuni ancora mancanti all'appello, e considerando d'altra parte l'andamento complessivo della popolazione residente (in diminuzione secondo l'ISTAT già prima dell'evento pandemico), l'evoluzione quantitativa della raccolta differenziata dovrebbe portare ad una produzione a regime di circa 9.077.000 tonnellate all'anno di frazione organica al 2025, come si può osservare in Fig. 2.

Delle 7.174.592 tonnellate di FORSU raccolta nel 2020, il 48,1% (3,2 milioni di tonnellate) è gestito in impianti di compostaggio, il 46,8% (3,1 milioni) è avviato al trattamento integrato (anaerobico/aerobico) e il 5,1 % (338 mila tonnellate) è trattato in impianti di digestione anaerobica (ISPRA, 2021). Gli ammendanti prodotti sono pari a circa 2,2 milioni di tonnellate (sufficienti ad ammendare dai 160.000 ai 220.000 ettari di terreno agricolo), così suddivisi: 549.000 tonnellate di ACV, 1.213.000 di ACM e 427.000 di ACF (Centemero, 2022). Il biogas è pari a 356.897.833 Nm³ e il biometano è pari a 92.562.110 (ISPRA, 2021).

Scala lombarda

I dati del Catasto Nazionale Rifiuti di ISPRA indicano per il 2020 un totale di rifiuti urbani di 4.680.196 tonnellate, di cui 3.429.560 raccolte in modo differenziato (73,3%). La FORSU è pari a 1.242.275 tonnellate, con il dettaglio per provincia riportato nella tabella seguente. Secondo la Relazione sulla Produzione e Gestione dei Rifiuti in Regione Lombardia di ARPA (ARPA Lombardia, 2020), l'umido rappresenta il 16,5% del totale dei rifiuti urbani (772.232 ton) e il verde il 9,8% (458.659 ton). In Lombardia l'82% dei Comuni utilizza un sistema di raccolta prevalentemente basato sul porta a porta (dato 2018), ma non tutti i comuni che adottano questo modello hanno implementato la raccolta dell'organico (PRGR, 2020). Nel 2020, la raccolta domestica dell'organico è attiva nell'80% dei Comuni (73,2% nel 2019, a cui corrispondeva il 93,5% della popolazione), nei quali si intercettano più di 40 kg/ab/anno. Nel restante 20% (296 Comuni) la raccolta o non è stata ancora attivata o è inferiore a 40 kg/abitante, dato che indica o una sperimentazione o un'attivazione solo in

Fig 3: Quantitativi FORSU per provincia, anno 2020
Fonte: Catasto Nazionale Rifiuti ISPRA



alcune zone o solo presso le utenze non domestiche. La situazione più critica al 2020 si registra nella provincia di Sondrio (e in seconda battuta nella provincia di Pavia), come indicato nel grafico seguente (ARPA Lombardia, 2020).

Città Metropolitana di Milano

Come indicato nel Catasto Nazionale dei rifiuti (Ispra, 2020), i dati relativi al 2020 sono i seguenti

- Rifiuti Urbani totali: 1.445.997 tonnellate
- FORSU: 339.414 tonnellate

Comune di Milano

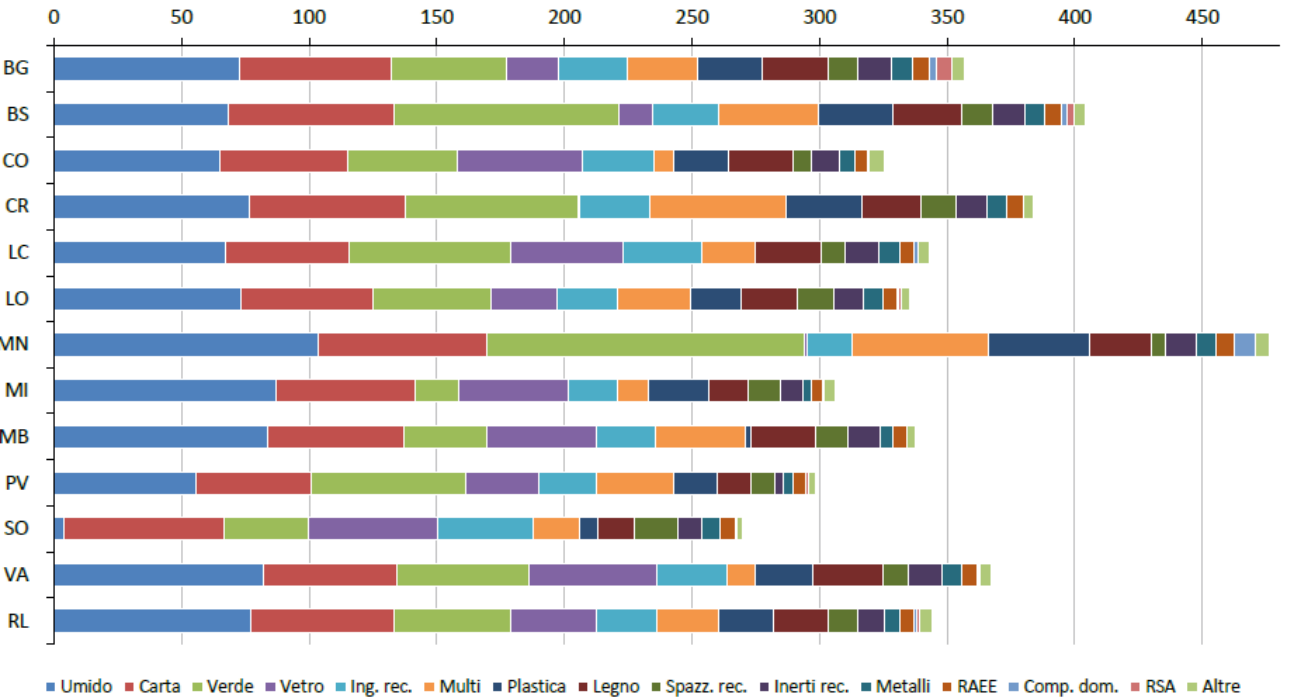
Come indicato nel Catasto Nazionale dei rifiuti (Ispra, 2020), i dati relativi al 2020 sono i seguenti

- Rifiuti Urbani totali: 608.412 tonnellate
- FORSU: 127.803 tonnellate

Per Milano si dispone dei dati 2021 disponibili sul sito di AMSA³:

- Rifiuti Urbani totali: 626.796 tonnellate
- Organico: 131.985 tonnellate
- Sfalci e potature: 1.347 tonnellate

Fig 3: Situazione al 2020 dei comuni nei quali è attivata la raccolta dell'umido domestico, anno 2020
Fonte: ARPA Lombardia, 2022



3 www.amsa.it/cittadini/milano

LE PRINCIPALI QUESTIONI RELATIVE ALLA
RACCOLTA E AL TRATTAMENTO DEI RIFIUTI
ORGANICI

La qualità della raccolta differenziata

L'efficienza del riciclo della FORSU parte dalla realizzazione di raccolte differenziate di qualità; la presenza di contaminazioni tra filiere diverse genera pesanti ripercussioni nella fase di riciclo dell'organico, con implicazioni energetiche e di perdita di risorse riciclabili (ma ogni tipologia di industria si misura con la purezza delle materie prime, relativi trattamenti e costi). Durante il processo di trattamento infatti, per rimuovere 1 tonnellata di frazioni estranee presenti nei rifiuti organici si generano (per effetto trascinamento) mediamente quasi 3 tonnellate di scarti, per la maggior parte costituiti da rifiuto organico. Il monitoraggio della frazione organica effettuato dal CIC indica per il 2019 una presenza di materiale non compostabile (MNC) pari al 6,2% con le due frazioni principali costituite da plastica non compostabile (55,2%) e da pannolini (9,3%). Per quanto riguarda la plastica non compostabile, i sacchetti in cui viene conferito il rifiuto organico sono ancora un problema rilevante (rappresentando il 23,4% del MNC) (CIC, 2021).

La qualità della raccolta dell'umido dipende molto dalla metodologia di raccolta (il porta a porta dà risultati migliori dei cassonetti stradali) e dalle campagne di comunicazione verso i cittadini e le utenze non domestiche (già dopo un tempo pari 6 mesi dall'ultima campagna si nota un calo della qualità; per esempio la sospensione della consegna del sacchetto compostabile da parte dei Comuni, consegna che veicola anche la comunicazione, determina un peggioramento nella qualità della raccolta). La comunicazione deve puntare anche a facilitare il riconoscimento della bioplastica compostabile (spesso difficilmente riconoscibile dalla plastica tradizionale). Il monitoraggio costante (controlli a campione) è fondamentale per capire quali sono gli errori più frequenti ed intervenire di conseguenza.

Infine, anche lo sviluppo tecnologico impiantistico può contribuire. Come già scritto, il principale problema per la qualità della frazione umida è la presenza di plastica non compostabile. Eliminarla all'inizio del ciclo di trattamento (tramite vagliatura fine) comporta uno scarto importante anche di frazione umida a causa dell'effetto trascinamento e l'esclusione dal ciclo dei materiali in bioplastica compostabile. Per esempio, i nuovi impianti integrati di A2A con produzione di biometano, recentemente inaugurati a Lacchiarella (Milano) e Cavaglià (Biella), prevedono in testa all'impianto l'apertura dei sacchi (triturazione lenta) e un vaglio stellare che suddivide la parte fine (destinata al processo di DA) da quella grossolana (destinata invece a saltare al fase di DA e ad unirsi al digestato per la fase compostaggio). La triturazione lenta è possibile perché la tecnologia di DA utilizzata è quella a semi-secco (che richiede miscele meno liquide, al contrario della tecnologia a umido che richiede miscele molto liquide e

QUALITÀ DELLA
RACCOLTA
DIFFERENZIATA



METODOLOGIA DI RACCOLTA

+
COMUNICAZIONE
VERSO GLI UTENTI
+
SVILUPPO TECNOLOGICO
DEGLI IMPIANTI
DI TRATTAMENTO

RACCOLTA
DIFFERENZIATA
DI SCARSA QUALITÀ



+ COSTI
+ SCARTI
2019
MATERIALE
NON
COMPOSTABILE
6,2% IN PESO
55,2% plastica
non compostabile
9,3% pannolini

RIMOZIONE
di 1 tonnellata di
MATERIALE
NON COMPOSTABILE
genera
3 TONNELLATE DI
SCARTI

IMPIANTI DI TRATTAMENTO



PIANIFICAZIONI REGIONALI
SOTTOSTIMANO I FABBISOGNI

+
DIFFICOLTÀ
REALIZZAZIONE
DEGLI IMPIANTI PROGRAMMATI

+
DISTRIBUZIONE
DISOMOGENEA
SUL TERRITORIO NAZIONALE



+
NECESSITÀ DI RINNOVO
DEGLI IMPIANTI ESISTENTI

→ evoluzione
della normativa

→ esigenze
dei singoli territori
ospitanti

→ evoluzione
della composizione
dei rifiuti organici

→ progressi
della ricerca
scientifica
e dell'innovazione
tecnologica

quindi necessita di una micro-triturazione iniziale). La successiva fase di compostaggio prevede una vagliatura finale che di nuovo separa la parte fine (il compost) da quella grossolana che passa attraverso uno stadio di deplastificazione, a seguito del quale si unisce al digestato per essere sottoposta nuovamente a compostaggio. Eliminare la plastica nella fase di vagliatura finale (rispetto alla vagliatura iniziale) comporta un minore effetto trascinamento, poiché la miscela dopo la fase di compostaggio è più secca (eliminarla nel caso ci sia stata una micro-triturazione iniziale è comunque molto complesso). Nel caso degli impianti di compostaggio, il pretrattamento consiste comunque in un tritatore lento, ma non è necessario suddividere le parti fini da quelle grossolane, poiché la miscela può passare attraverso il processo di compostaggio (la plastica non compostabile è inerte rispetto a questo processo) ed essere sottoposta alla vagliatura finale.

Gli impianti di trattamento

Il rapporto 2021 della Corte dei Conti sul coordinamento della finanza pubblica, in relazione all'impiantistica per il ciclo dei rifiuti urbani afferma che:

- la realizzazione delle infrastrutture programmate e finanziate marcia a ritmi insufficienti e si concentra sui progetti che riguardano la fase di raccolta rispetto a quelli relativi al trattamento/smaltimento, che peraltro concentrano i finanziamenti più elevati;
- i progetti riguardano maggiormente la fase di raccolta perché da un lato sono più semplici da realizzare e dall'altro sono meno impattanti e, anche grazie alla comunicazione istituzionale fatta sull'importanza della raccolta differenziata, non suscitano l'opposizione né da parte dei cittadini (NIMBY) né da parte degli amministratori locali (NIMTO);
- Più del 60% del tempo che intercorre dalla progettazione all'entrata in esercizio di un'infrastruttura per la gestione dei rifiuti urbani è assorbito dall'iter di progettazione, ivi incluse le fasi autorizzative, a fronte di un tempo tutto sommato fisiologico per l'esecuzione della stessa;
- il tasso di realizzazione delle opere di maggiori dimensioni si ferma a poco più del 5%, e in particolare non vengono realizzate quelle per il trattamento del rifiuto organico;
- c'è una criticità nella pianificazione regionale, con diversi Piani Regionali di Gestione dei Rifiuti che sottostimano i fabbisogni poiché indicano politiche di prevenzione troppo ambiziose o proiezioni di aumento delle raccolte differenziate che non trovano riscontro nei fatti.

Come rimarcato nel PNRR (Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza) e nel PNGR (Piano Nazionale di Gestione dei Rifiuti), il parco impiantistico relativo al trattamento del rifiuto organico è distribuito in modo disomogeneo sul territorio nazionale: sovrabbondante nel Centro-Nord, carente nel Sud, dove alcune regioni vivono una cronica mancanza di infrastrutturazione (le polemiche relative alle ripercussioni sui trasporti locali e sulla salute, si dimostrano infondate in tutte le aree dove esistono impianti operativi). Il completamento del sistema impiantistico ha anche ripercussioni sociali: costruire impianti di compostaggio e digestione anaerobica nelle regioni

che ne sono sprovviste porta crescita, occupazione e reddito.

Inoltre il parco impiantistico esistente è anche da rinnovare, poiché gli impianti devono essere sempre più tecnologici e protettivi dell'ambiente, in particolare devono far fronte:

- all'evoluzione della normativa (per esempio il nuovo regolamento (UE) 1009/2019 sui fertilizzanti, le nuove BAT europee per gli impianti in Autorizzazione Integrata Ambientale);
- alle esigenze dei singoli territori ospitanti gli impianti (necessità di progressivo integrale incapsulamento – gestione al chiuso di tutte le fasi di processo almeno per ACM e ACF - per azzerare le problematiche odorigene);
- all'evoluzione della composizione dei rifiuti organici (crescita della presenza dei manufatti in carta e plastica compostabili);
- ai progressi della ricerca scientifica e dell'innovazione tecnologica che si traducono in nuove tematiche da affrontare, nuove soluzioni proposte, nuovi processi e nuovi prodotti.

Il mercato dei fertilizzanti organici derivati dalla trasformazione biologica di rifiuti

La chiusura del ciclo dei rifiuti organici si compie solo con l'effettiva collocazione degli ammendanti organici prodotti dal loro riciclo. L'art. 182-ter c.5 del D.lgs 152 prevede genericamente che le regioni incentivino la produzione e l'utilizzo del compost, ma gli interventi locali non hanno mai visto concretizzarsi tali impegni. Il mercato del compost si è faticosamente costruito grazie agli sforzi delle aziende produttrici e all'attività del CIC, che si impegna per garantire la qualità lungo tutta la filiera di produzione, sia con azioni di sensibilizzazione che con la promozione del marchio "Compost Di Qualità CIC".

Ciononostante, il valore del compost è ampiamente sottovalutato, anche nell'attuale contingenza economica che ha visto una impennata dei prezzi dei fertilizzanti. Considerando solo il valore economico associato ai macronutrienti presenti nel compost (e trascurando il vero valore aggiunto associato al carbonio organico e agli effetti positivi sulla fertilità del terreno), i proventi della vendita dei 2,2 milioni di tonnellate di compost prodotto dovrebbero superare i 150 milioni di euro all'anno. Il reale giro di affari invece, stimato attraverso i sondaggi periodici condotti dal CIC presso i suoi associati, si aggirerebbe intorno a 20 milioni di euro all'anno.

Gli acquisti verdi nelle città: il Green Public Procurement

Un importante sostegno alla promozione del compost, può arrivare dal Piano di Azione Nazionale sul Green Public Procurement (PAN-GPP), che ha l'obiettivo orientare la spesa pubblica verso l'efficienza energetica e il risparmio nell'uso delle risorse, in particolare la riduzione delle emissioni di CO₂, la riduzione dell'uso di sostanze pericolose e della produzione di rifiuti. Per avere un'idea del potenziale del GPP sul mercato europeo, basti considerare che i volumi di spesa per acquisti delle pubbliche amministrazioni in Europa sono mediamente pari al 16,3% del PIL

MERCATO DEI FERTILIZZANTI ORGANICI (COMPOST)



VALORE ECONOMICO
DEL COMPOST AMPIAMENTE
SOTTOVALUTATO



GREEN PUBLIC PROCUREMENT
(compost = «acquisto verde»)

→ Infrastrutture verdi
per le città
(utilizzo di prossimità)

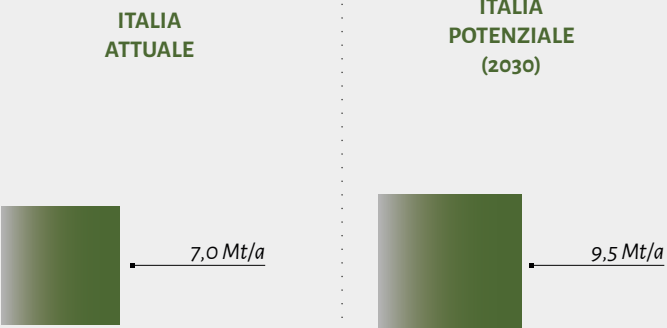
→ Grandi opere pubbliche

NUTRIENTI E SOSTANZA ORGANICA PRESENTI NEL COMPOST

NUTRIENTI E SOSTANZA ORGANICA
DEL COMPOST

Mt/anno

Bio-waste da rifiuto urbano



Compost t.q. (65% s.s.)



Compost s.s.



Sostanza organica (s.s.)



t/anno

Azoto (N)



Potassio (come K₂O)



Fosforo (come P₂O₅)



VALORE DEL COMPOST È AMPIAMENTE SOTTOVALUTATO

Considerando solo il valore economico associato ai macronutrienti presenti nel compost, i proventi della vendita dei **2,2 MILIONI DI TONNELLATE DI COMPOST PRODOTTO**

DOVREBBERO SUPERARE I 150 MILIONI DI EURO ALL'ANNO

invece attualmente il giro di affari si aggirerebbe attorno ai **20 MILIONI DI EURO ALL'ANNO**

(corrispondenti a 1500 miliardi di Euro).

Già dal 2009 e recentemente confermato nel 2020⁴ il compost può fregiarsi della qualifica di “acquisto verde” ed essere impiegato nella gestione integrata del verde pubblico in aderenza agli orientamenti nazionali e comunitari.

L'acquisto di fertilizzanti organici interessa tutte le amministrazioni pubbliche che gestiscono aree verdi; in particolare interessa le città che, negli ultimi anni, proprio in risposta al tema del cambiamento climatico, stanno promuovendo la realizzazione di infrastrutture verdi. Poiché la maggior parte dei rifiuti organici proviene proprio dalle città, il ritorno della sostanza organica in essi contenuta per le opere a verde pubblico rappresenta la destinazione più logica, in coerenza con le politiche di economia circolare.

In aggiunta, se si dovessero considerare le grandi opere pubbliche infrastrutturali (per esempio le opere autostradali e il rinnovo della rete ferroviaria), si stima che la domanda per l'impiego di ammendanti per tali opere sarebbe sufficiente a coprire l'intera produzione di compost.

Purtroppo, le opere pubbliche (dalle grandi infrastrutture alle singole sistemazioni a verde dei comuni) che sono state cantierizzate dal 2009, non hanno mai promosso iniziative virtuose in tal senso.

I DATI E LE PROSPETTIVE DI EVOLUZIONE
DELL'ECONOMIA CIRCOLARE DEI RIFIUTI
ORGANICI

Come già argomentato, la gestione dei rifiuti urbani deve fare un salto di qualità con il recepimento del pacchetto sull'Economia circolare (D.lgs 116/2020 e 121/2020). Gli obiettivi posti dalla normativa ricadono in particolare sui rifiuti organici, che rappresentano circa il 40% dei rifiuti urbani raccolti in modo differenziato in Italia, con 7,1 Mt di umido e verde raccolti nel 2020, e una prospettiva di superare i 9 Mt all'anno nel 2030.

Dai numeri relativi al raffronto tra lo scenario attuale e quello di prospettiva emergono elementi significativi sia sul piano ambientale che delle ricadute economiche e sociali derivanti dal consolidamento della filiera dei rifiuti organici.

È importante sottolineare il tema dell'occupazione che si accompagna alla crescita della raccolta differenziata e successivo riciclaggio dei rifiuti organici: il CIC stima che al 2030 la filiera dell'organico possa crescere di oltre 4.000 addetti, grazie al completamento delle raccolte differenziate. La gestione dei rifiuti organici è quindi anche occasione di inclusione sociale per le aree territoriali, localizzate soprattutto nel Sud del Paese,

Fig 5: Nutrienti e sostanza organica presenti nel compost

Fonte: Centemero, 2021

⁴ Decreto del Ministro n. 63 del 10 marzo 2020 - e la relativa pubblicazione in Gazzetta Ufficiale n. 90 del 4 aprile 2020 - recante Criteri ambientali minimi (CAM) per il servizio di gestione del verde pubblico e la fornitura di prodotti per la cura del verde.

dove è maggiore la distanza dagli obiettivi di raccolta differenziata e riciclaggio dei rifiuti. Nella tabella di seguito si riportano alcuni indicatori che mostrano la rilevanza, anche in prospettiva, del comparto dei rifiuti organici e dell'economia circolare da questi stimolata (Centemero, 2021). Nello specifico, in termini di addetti, la stima del CIC per l'intero settore del rifiuto organico (raccolta, trasporto, trattamento, indotto) indica una forbice tra 11.000 e 14.000 addetti, in particolare:

- 7.700-10.300 addetti alla raccolta e al trasporto
- 1.600-1.950 addetti al trattamento
- 1.800 addetti per l'indotto generato dal trattamento (manutenzioni, noleggi, analisi ambientali e dei prodotti, consulenti tecnici e legali, progettisti, trasportatori).

Il settore dei rifiuti organici inoltre, non va dimenticato, ha dato un contributo rilevante nella pandemia di Covid 19, assicurando non solo la continuità delle raccolte nelle fasi più critiche, ma anche l'igienizzazione dei rifiuti trattati, grazie all'intenso sviluppo di calore nel corso dei processi biologici: un vero e proprio presidio territoriale sanitario e ambientale.

Inquadramento normativo

La normativa disciplina le caratteristiche e le modalità di produzione dei fertilizzanti organici, principali prodotti del riciclo dei rifiuti organici. Comprende una norma nazionale (D.lgs 75/2010) e una più recente norma comunitaria, il Regolamento (UE)1009/2019 sui Fertilizzanti, che disciplina l'immissione sul mercato di fertilizzanti a marchio UE e che garantisce, per i fertilizzanti organici prodotti da rifiuti, la cessazione della qualifica di rifiuto.

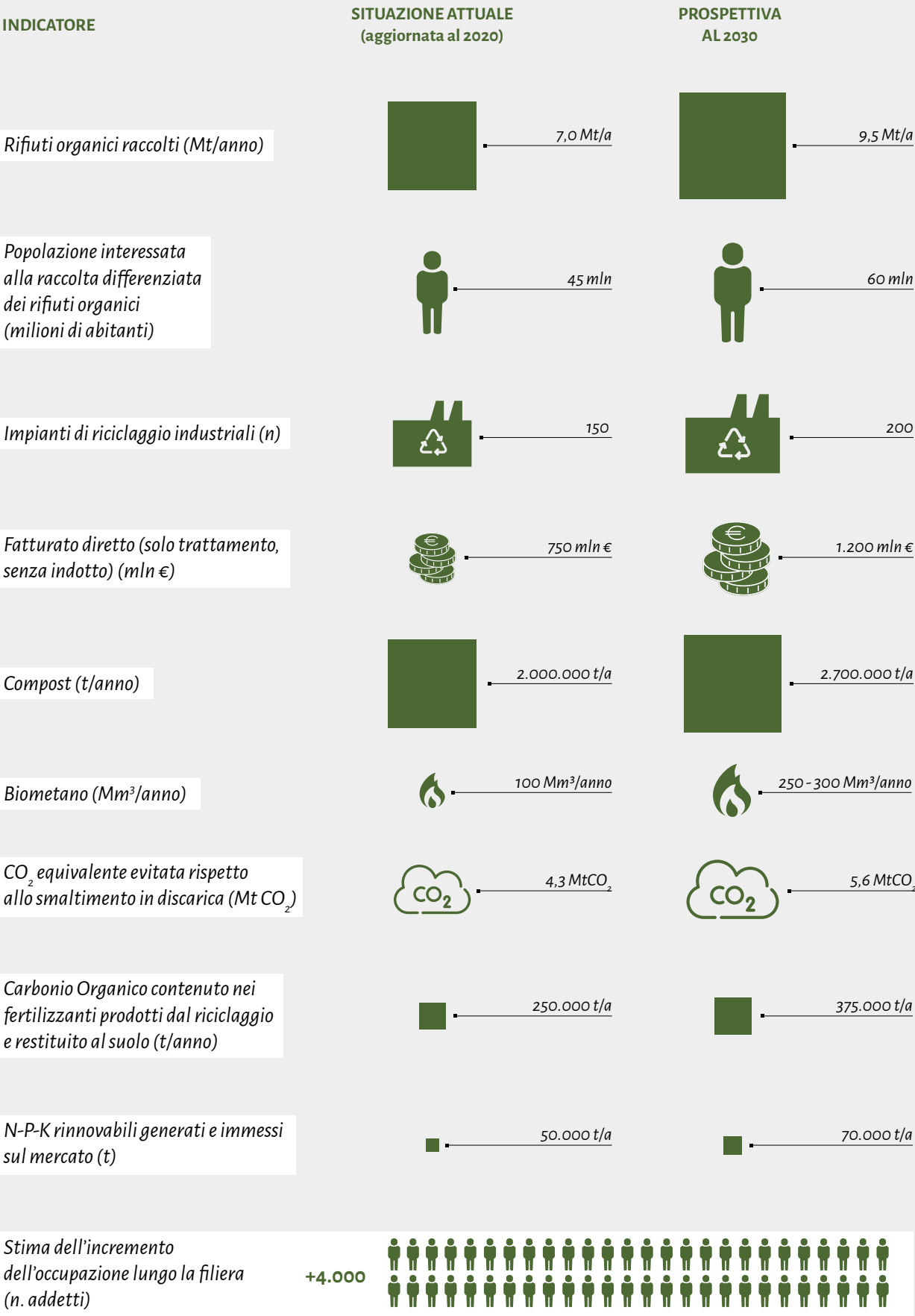
In Italia allo stato attuale, nonostante l'adozione fosse fissata per il 16 luglio 2022, il Regolamento rimane inapplicato, almeno per i fertilizzanti di nuova introduzione, come i fertilizzanti organici: seppure un produttore fosse infatti nelle condizioni di produrre un fertilizzante aderente ai dettami della norma (che non riguardano solo le caratteristiche tecniche del prodotto finale, ma anche le modalità di produzione e le caratteristiche dell'azienda produttrice), non è ancora stata implementata la struttura amministrativa e di certificazione necessaria alla verifica di conformità dei prodotti, passo obbligato per la loro immissione in consumo.

In sintesi:

1. il Regolamento 2019/1009 ha carattere volontario, e non cogente, rivolgendosi ai fabbricanti di fertilizzanti che desiderino immettere sul mercato prodotti liberamente commercializzabili al di fuori dei confini nazionali;
2. il Regolamento, sebbene attuativo, non rende inefficace la normativa nazionale sui fertilizzanti (D.lgs 75/2010) che, direttamente collegata al D.lgs 152/06, continua a essere il riferimento per la cessazione della qualifica di rifiuto per i rifiuti organici e a matrice organica (si veda l'art. 183 comma 1 lettera ee);

Fig. 6: Indicatori relativi al comparto dei rifiuti organici
Fonte: Centemero, 2021

INDICATORI RELATIVI AL COMPARTO DEI RIFIUTI ORGANICI



- 3. rispetto agli ammendanti prodotti a partire dai rifiuti organici la normativa nazionale non ha peraltro caratteristiche di minore protezione ambientale o di minore garanzia sulla qualità dei prodotti fertilizzanti;
- 4. i prodotti fertilizzanti non annoverati tra quelli rientranti nel campo di applicazione del Regolamento 2019/1009 - con specifico riferimento qui all'ammendante compostato con fanghi - possono continuare ad essere prodotti ai sensi della normativa nazionale.

Per quanto riguarda i rapporti tra il Regolamento e la normativa nazionale sui fertilizzanti, che inevitabilmente dovranno essere chiariti in alcuni aspetti, il 2 agosto 2022 il Parlamento ha licenziato la Legge di Delegazione Europea 2021⁵ recante delega al Governo per il recepimento delle direttive europee e l'attuazione di altri atti normativi dell'Unione europea. La Legge di Delegazione Europea 2021 include una specifica delega al Governo per l'adeguamento della normativa nazionale alle disposizioni del regolamento (UE) 2019/1009 e concederà 12 mesi di tempo (settembre 2022-settembre 2023) al Governo per elaborare le necessarie modifiche alla normativa nazionale.

Gli strumenti e le risorse per lo sviluppo dell'economia circolare dei rifiuti organici

Alle politiche di sostegno della filiera, si uniscono strumenti economici che, se opportunamente destinati, possono consentire decisi passi in avanti per la sua qualificazione.

All'interno del PNRR (Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza) le risorse economiche per la realizzazione di progetti di economia circolare che riguardano i rifiuti sono allocate nella Missione 2. In particolare, all'interno della componente M2C1: ECONOMIA CIRCOLARE E AGRICOLTURA SOSTENIBILE, vengono destinati fondi per 1,5 Mld € per la realizzazione di nuovi impianti e ammodernamento degli impianti esistenti per il riciclo e 600 milioni per Progetti “faro” di economia circolare (il 60% degli investimenti è indirizzato nel Centro-Sud).

Il PNRR ha tra l'altro finanziato la realizzazione, da parte del Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare (ora Ministero per la Transizione Ecologica) della Strategia Nazionale per l'Economia Circolare, al fine di perseguire tra l'altro “la riduzione dell'uso di materie prime non rinnovabili, la diminuzione del volume di rifiuti, il riutilizzo e il riciclo dei rifiuti, attraverso l'introduzione di sistemi di tracciabilità dei flussi di materiali, l'innovazione tecnologica, la diffusione di buone pratiche e l'adozione di strumenti per favorire la sinergia tra i settori pubblico e privato e pianificare le infrastrutture per chiudere il ciclo dei rifiuti.”

Il PNRR ha reso possibile la produzione del Piano Nazionale di Gestione dei Rifiuti (PNGR), previsto dal recepimento nazionale del Pacchetto sull'Economia Circolare, che dà alcune indicazioni per colmare il gap impiantistico esistente, tra le quali la necessità di:

- ottimizzare la raccolta differenziata della frazione organica e della

6 www.politicheeuropee.gov.it/it/normativa/legge-di-delegazione-europea/legge-di-delegazione-europea-2021/

IL NUOVO REGOLAMENTO SUI FERTILIZZANTI

I fertilizzanti CE sono raggruppati in categorie funzionali di prodotto (PFC, elencate nell'allegato I) a loro volta costituite da una o più categorie di materiali costitutivi (CMC, elencate nell'allegato II). Sia il digestato sia il compost sono presenti nella normativa comunitaria come componenti base di un fertilizzante, rispettivamente CMC3 per il compost e CMC5 per il digestato.

Ci sono alcune novità rispetto agli standard attuali previsti per la norma nazionale: per esempio la presenza di valori limite relativi alla stabilità biologica con l'introduzione dell'OUR, un indice di assorbimento dell'ossigeno o il Rottegrad, un test di maturazione. Le impurità sono sostanzialmente uguali a quelle già presenti nel Dlgs 75/2010, fatta eccezione la prospettiva di riduzione dei valori in plastiche: dal 16 luglio 2026 il contenuto massimo di plastica di dimensioni superiori ai 2 mm, passa da 0,5 a 0,25% di materia secca (2,5 g/kg); tale valore entro il 16 luglio 2029 deve essere sottoposto a nuova valutazione per tenere conto dei progressi realizzati nella raccolta differenziata di rifiuti organici.

La presenza del limite in IPA (idrocarburi policiclici aromatici) di 6 mg/kg s.s. per IPA16¹ costituisce un primo esempio di introduzione di un marker di tossicità che dovrà essere rispettato.

1 Somma di naftalene, acenaftilene, acenaftene, fluorene, fenantrene, antracene, fluorantene, pirene, benzo[a]antracene, crisene, benzo[b]fluorantene, benzo[k]fluorantene, benzo[a]pirene, indeno[1,2,3-cd]pirene, dibenzo[a,h]antracene e benzo[ghi]perilene

ECONOMIA CIRCOLARE DEI RIFIUTI ORGANICI E POLITICHE
ENERGETICHE

La drammatica vicenda della guerra in Ukraina ha messo in evidenza l'estrema dipendenza dell'Italia da materie prime ed energia: complice una certa dose di speculazione, si sono impennati i prezzi di fertilizzanti, farine e altri beni di prima necessità e il Paese si trova ad affrontare una seria crisi energetica.

L'Unione Europea, nel tentativo di affrancarsi dalla dipendenza dai combustibili fossili provenienti dalla Russia, ha messo a punto il piano REPowerEU, per aumentare la resilienza del sistema energetico diversificando le fonti di approvvigionamento di gas, aumentando le importazioni di GNL (gas naturale liquefatto) e, attraverso i gasdotti che collegano l'EU con fornitori non russi, promuovendo l'uso di biometano e idrogeno rinnovabile.

Oltre alla possibilità di incoraggiare la produzione su ampia scala di idrogeno, l'EU27 promuove e incentiva la diffusione di gas rinnovabili e a basse emissioni di carbonio, tra i quali il biometano spicca per disponibilità. Il piano REPowerEU mira a garantire una produzione di 35 miliardi di metri cubi di biometano entro il 2030 - il doppio dell'obiettivo UE attuale - proveniente dalla trasformazione di biomasse sostenibili come i rifiuti organici e i residui agricoli.

In Italia si stima che se si accelerasse il percorso di produzione di biometano a partire dai rifiuti organici e dai residui agricoli, si potrebbe arrivare a circa 4 miliardi di m³ all'anno² (oggi ne importiamo dalla Russia circa 25). Dal 2017 è iniziato un percorso virtuoso (e che segue l'andamento di alcuni Paesi del nord Europa), di autoproduzione di biometano dagli scarti organici. Numerose iniziative sono ai nastri di partenza. Mancano solo alcune certezze normative, alcuni aggiustamenti amministrativi.

Diverse aziende operanti nel settore del riciclo dei rifiuti organici hanno avviato la fase di upgrading del biogas a biometano, grazie alle risorse messe a disposizione dal decreto del Ministro dello Sviluppo Economico del 2 marzo 2018, che però prevede che possano usufruire degli incentivi gli impianti di produzione di biometano che entrano in esercizio o sono riconvertiti entro il 31 dicembre 2022 (prorogata alla fine del 2023 con il decreto del 5 agosto 2022 del Ministro della Transizione Ecologica). A partire dal 2020, complice la pandemia e una cronica penuria di materie prime, la realizzazione di nuovi impianti e la conversione a biometano di impianti di compostaggio esistenti stanno incontrando una serie di difficoltà che hanno pesantemente rallentato gli iter autorizzativi, le procedure di gara e le attività cantieristiche.

Tra realizzazioni ex novo e ammodernamenti, in Italia sono pronti a diventare operativi più di 50 impianti di produzione di biometano da FORSU. Sono chiaramente percorsi che prevedono una crescita progressiva e un affiancamento costante, è dunque importante che la scelta di produrre biometano non sia la risposta momentanea ad una emergenza energetica, ma diventi un pilastro strutturale della politica energetica nazionale ed europea.

.....
2 Fonte, CIB, 2022

- qualità della frazione raccolta mediante analisi merceologiche finalizzate a verificare la presenza di scarti;
- prevedere forme di sostegno per l'utilizzo del compost prodotto dagli impianti integrati.

Programmazione della gestione della FORSU in
Lombardia

Il documento principale per la gestione dei rifiuti in Regione Lombardia è il Programma Regionale di Gestione dei Rifiuti (PRGR, "Piano verso l'economia circolare"). Malgrado la raccolta della FORSU non sia ancora completa, le previsioni al 2027 fatte dal PRGR (tre diversi scenari) danno valori che non si discostano molto da quelli attuali, ovvero 800.000 tonnellate/anno per l'umido e 450.000 per il verde (in tutti e tre gli scenari) (PRGR; 2022).

La qualità della FORSU

- I dati delle analisi merceologiche del CIC - Consorzio Italiano Compostatori - sulla percentuale in peso di materiale non compostabile (MNC) presente nella FORSU (4,9%) suggeriscono le seguenti considerazioni (PRGR, 2022):
- la raccolta porta a porta presenta i risultati migliori (4,7% di MNC), seguita dal cassonetto stradale con controllo a calotte (7,9% di MNC) e dal cassonetto stradale aperto (16% di MNC);
 - i risultati della raccolta porta a porta registrano nel tempo un peggioramento (occorre un rilancio delle campagne di comunicazione);
 - le città più grandi hanno maggiori quantità di MNC;
 - si registra una presenza rilevante del sacchetto in plastica non compostabile (24,8%) e dunque la necessità di effettuare pretrattamenti anche spinti in ingresso agli impianti, con un conseguente aumento dei quantitativi di scarti in uscita per "effetto trascinamento". I sacchetti

Tab 1 – Dettaglio territoriale per provincia del livello di impurezze (MNC) riscontrate nella FORSU analizzata dal CIC. Media su 456 analisi 2018 e 2019 di cui 84,0% porta a porta, 14,9% calotte, 4 cassonetti.
Fonte: PRGR, 2022

Provincia	Media materiale non compostabile (MNC)%	Campioni
Bergamo	2,7	30
Brescia	5,1	178
Como	3,5	1
Cremona	2,6	1
Lecco	1,7	22
Mantova	4,8	122
Milano	6,0	94
Pavia	3,9	8
Totale	4,9	456

- compostabili sono per il 74,8% in bioplastica e per lo 0,5% in carta;
 - l'uso dei sacchetti in polietilene e il conferimento di pannolini sono i due errori più comuni.
- La tabella precedente fornisce il dettaglio del MNC a livello provinciale.

La situazione impiantistica

La rete impiantistica della Lombardia - capacità di trattamento di circa 2,5 milioni di tonnellate annue, di cui circa 1,7 per il trattamento della FORSU (ISPRA, 2021) - garantisce l'autosufficienza del trattamento della frazione organica dei rifiuti urbani, anche considerando un margine di sicurezza pari al 10-15% per eventuali fermi impianto per manutenzione e le previsioni di aumento della raccolta al 2027 (si ricorda inoltre che attualmente il 27% della FORSU trattata proviene da fuori regione). Bisogna ricordare la presenza di un grande impianto (Montello spa) che da solo garantisce il trattamento di circa 765.000 tonnellate di FORSU. Sono comunque in corso di realizzazione avanzata, o di istanza, nuovi impianti di trattamento che aumenteranno ulteriormente la capacità indicata. Il PRGR non evidenzia la necessità di nuovi impianti, se non nei contesti territoriali che ne risultino sprovvisti, anche per il rispetto del principio di prossimità (PRGR, 2022).

La quantità degli scarti di processo (legata sia alla qualità del rifiuto in ingresso, sia alle caratteristiche di processo del singolo impianto) non è trascurabile ed è un elemento da monitorare, anche perché il PRGR si pone un obiettivo di riciclo al 60%. Per far ciò, risulta necessario un miglioramento qualitativo delle raccolte differenziate e un miglioramento dei processi impiantistici sia in fase di pre-selezione del materiale da recuperare sia nella fase di effettivo recupero. Le tecniche impiantistiche che permettono la riduzione degli scarti (es. lavaggio, pressatura, essiccazione, ri-compostaggio degli scarti, ecc.) vanno incentivate (PRGR, 2022).

Il sistema impiantistico della Regione Lombardia è avanzato e non ha sofferto l'adeguamento alle nuove BAT (Best Available Technology) europee per gli impianti in Autorizzazione Integrata Ambientale. Le operazioni di revamping sono comunque necessarie (tenuta dei capannoni, rifacimento di piazzali, biofiltri, sistemi di areazione, sistemi di depurazione delle acque). Il PNRR ha stanziato finanziamenti per il revamping degli impianti pubblici, ma si ricorda che il Regione Lombardia molti impianti sono privati.

Tab 2: Quantitativi trattati e prodotti in uscita dagli impianti lombardi (anno 2020)
Fonte: Elaborazioni su dati del Rapporto sui rifiuti urbani di ISPRA, 2021

		Compostaggio
Quantità autorizzata (t/anno)		1.369.875
Totale rifiuti trattati (t/anno)		983.055
Tipologie di rifiuto trattato (t/anno)	Umido	189.851
	Verde	560.748
	Fanghi	68.244
	Altro	164.212
Quantità dei prodotti in uscita (t/anno)	ACV	209.307
	ACM	368.797
	altro	10.004
	scarti	47.854
Totale output (t/anno)		635.962

		Integrati	DA	Totale
Quantità autorizzata (t/anno)		833.608	355.665	1.189.273
Totale rifiuti trattati (t/anno)		873.045	270.979	1.144.024
Tipologie di rifiuto trattato (t/anno)	Umido	808.093	117.412	925.505
	Verde	38.612	-	38.612
	Fanghi	14.604	137.863	152.467
	Altro	11.736	15.704	27.440
Digestato (t/anno)		17.280	239.443	256.723
Scarti (t/anno)		108.407	28.658	137.065
Biogas (N/m³)		124.900.498	26.834.590	151.735.088
Recupero energetico (MWh/anno)	Energia elettrica	94.326	44.513	138.839
	Energia termica	-	17.413	17.413
	Cogenerazione	4.935	23.374	28.309
Biometano (N/m³)		51.652.146	76.015	51.728.161

I FANGHI DI DEPURAZIONE DELLE ACQUE REFLUE

I fanghi di depurazione costituiscono il 90% degli scarti prodotti dal processo di depurazione delle acque: queste ultime contengono sostanze organiche e inorganiche che possono recare danno alla salute e all'ambiente, pertanto non possono essere reimmesse nell'ambiente senza prima essere state depurate, ovvero trattate e recuperate per utilizzi diversi. Più nello specifico, i fanghi di depurazione rappresentano il residuo solido derivante dal trattamento delle acque reflue di origine urbana, del settore agro-alimentare, di innumerevoli cicli produttivi industriali e commerciali nonché del deflusso stradale delle acque meteoriche. Sono costituiti in prevalenza da sostanza organica comprendente un'ampia componente di biomassa microbica e da particolato inorganico, quale conseguenza della trasformazione di sostanze inquinanti presenti in soluzione nelle acque reflue – ed altrimenti non separabili da queste - in una matrice particolata sedimentabile. Poiché gli inquinanti presenti nelle acque reflue si concentrano nei fanghi, questi possono essere considerati un indicatore dell'effettiva depurazione del refluo: più le acque depurate sono di qualità, più i fanghi prodotti saranno inquinati.

Il report si occupa di fanghi civili (provenienti da processi di depurazione degli scarichi di insediamenti civili, misti – civili e produttivi - o produttivi ma in questi ultimi due casi assimilabili ai civili); non tratta i fanghi industriali o agroindustriali, per le seguenti ragioni: i fanghi civili sono quantitativamente la maggior parte (in Lombardia nel 2020 le percentuali sono rispettivamente del 56,5% per i civili, il 34,2% per gli agroindustriali e il 9,3% per gli industriali (Padovani, 2022)), in particolare sul territorio urbano c'è scarsa presenza di insediamenti produttivi (la ricerca si concentra sul riutilizzo agronomico locale in ottica circolare dei fanghi prodotti dalla città), solo alcuni fanghi industriali sono ammessi all'uso agronomico (quello interessante ai fini di questo report), quelli agroindustriali se pure prodotti in quantità rilevanti sono meno problematici dal punto di vista della presenza di inquinanti (per Regione Lombardia sono tutti ammessi per l'utilizzo agronomico).

I fanghi civili - classificati come rifiuti non pericolosi indicati dal codice europeo EER 190805 - contengono elementi importanti - principalmente carbonio organico, azoto e fosforo - per la salute del suolo e per la produzione di cibo. A livello europeo, le quantità stimate sono le seguenti (EurEau, 2021):

I FANGHI DI DEPURAZIONE costituiscono il 90% degli scarti prodotti dal processo di depurazione delle acque reflue di origine urbana, del settore agro-alimentare, di innumerevoli cicli produttivi industriali e commerciali nonché del deflusso stradale delle acque meteoriche



sono costituiti da **SOSTANZA ORGANICA** e da **PARTICOLATO INORGANICO**



i fanghi civili sono rilevanti in termini di **BIOECONOMIA CIRCOLARE** perchè contengono
CARBONIO: 25-35% S.S.
FOSFORO 2-3% S.S.
AZOTO: 4-5% S.S.
NUTRIENTI POTENZIALMENTE RECUPERABILI
importanti per la salute del suolo e la produzione di cibo

D'ALTRO CANTO, I FANGHI SONO CONSIDERATI RIFIUTI QUINDI È IMPORTANTE MINIMIZZARNE LA PRODUZIONE ANCHE PERCHÈ GESTIONE E SMALTIMENTO SONO ESTREMAMENTE COSTOSI

- carbonio: 25-35% s.s. (sostanza secca)
- fosforo 2-3% s.s.
- azoto: 4-5% s.s.

La quantità annua stimata di nutrienti potenzialmente recuperabili dai fanghi di depurazione prodotti negli impianti di trattamento delle acque reflue nei 27 Stati membri dell'UE (UE-27) è compresa tra 6.900 e 63.000 tonnellate di fosforo e tra 12.400 e 87.500 tonnellate di azoto (per gli Stati EEA-32 - EU 27 + Islanda Liechtenstein, Norvegia, Svizzera e Turchia - tra 8.100 e 68.100 tonnellate di fosforo e tra 14.600 e 94.700 tonnellate di azoto). Queste quantità corrispondono rispettivamente allo 0,6-6% dei fertilizzanti totali per il fosforo e allo 0,1-1% dei fertilizzanti totali per l'azoto utilizzati nell'UE nel 2018 (EEA, 2022).

I valori medi stimati da Arpa nel 2010 (Soil4life, 2022) per i fanghi recuperati in agricoltura in Lombardia sono (in % su s.s.):

- Corg: 29% (limite normativo > 20%)
- P totale: 1,8% (limite normativo > 0,4%)
- N totale: 4,9% (limite normativo > 1,5%).

D'altro canto, poiché i fanghi sono rifiuti, è importante minimizzarne la produzione, che negli ultimi 10 anni ha continuato a crescere e presumibilmente continuerà a farlo, come effetto di due tendenze contrastanti: il miglioramento da un lato dei processi di depurazione (ma anche il completamento dei servizi di collettamento e depurazione, con conseguente maggiore produzione di fanghi) e dall'altro delle tecnologie di riduzione del volume dei fanghi (disidratazione più efficiente, recupero della cellulosa,...). Regione Lombardia stima una crescita in peso dei fanghi pari al 10% entro il 2027 rispetto alla produzione del 2018 (PRGR, 2022). Anche se all'interno dei fanghi la sostanza secca è in media il 22% a livello nazionale (ARERA, 2019) e il 25% a livello lombardo (PGRC, 2022) e dunque in percentuale sul totale dei rifiuti i fanghi costituiscono una minima parte, gestione e smaltimento sono estremamente costosi: ALTHESYS nel report "L'industria idrica e le sfide dell'economia circolare. La gestione sostenibile dei fanghi di depurazione" stima un costo di sistema della gestione dei fanghi tra i 400 e i 520 milioni di euro, assumendo un mix delle varie modalità di gestione e una produzione nazionale tal quale intorno ai 4 milioni di tonnellate a regime.

L'importanza del tema dei fanghi di depurazione non è solo in relazione al tema dell'economia circolare, ma in generale riguarda la commistione di aspetti economici, sociali (accettazione locale dello smaltimento dei fanghi), ambientali, sanitari, del sistema idrico e del sistema agricolo.

COME SI FORMANO I FANGHI DI DEPURAZIONE

All'interno degli impianti di depurazione, nella linea acque gli inquinanti presenti nel refluo vengono concentrati in un residuo liquido che costituisce il fango di depurazione: questo deriva sia da processi aerobici di abbattimento del carico organico presente nelle acque reflue, sia da processi chimico-fisici per precipitazione anche grazie all'aggiunta di reagenti. Per essere trasportati, utilizzati o smaltiti i fanghi necessitano di ulteriori trattamenti, che possono avvenire o nella linea fanghi di un

impianto di depurazione o in impianti dedicati (impianti "conto terzi").

Linea acque: come si forma il fango¹

Le acque reflue, che contengono rifiuti solidi di dimensioni diverse, vengono sottoposte inizialmente a trattamenti meccanici o preliminari: vengono fatte defluire prima attraverso una griglia che consente di separare i materiali più grossi (superiori ai 2-3 centimetri) per evitare che questi danneggino parti del depuratore (tubazioni, pompe); poi, un passaggio attraverso una grigliatura fine consente la separazione dei materiali solidi di dimensioni più piccole (superiori a qualche millimetro). Tutto ciò che viene catturato dalle griglie viene smaltito (incenerimento o discarica). La grigliatura primaria cattura anche la cellulosa, proveniente in particolare dalla carta igienica. Le acque, private dei rifiuti solidi, vengono poi convogliate nelle vasche di dissabbiatura o disoleatura, dove sabbie e terriccio precipitano sul fondo per sedimentazione naturale, oli e grassi flottano sulla superficie grazie ad una continua insufflazione di aria e vengono separati per scrematura (entrambi, sedimento e olii, devono poi essere smaltiti). La separazione dei fanghi avviene in due momenti, nei trattamenti primari finalizzati alla rimozione dei solidi sedimentabili e nei trattamenti secondari finalizzati alla rimozione di sostanze non sedimentabili: nelle vasche di sedimentazione primaria, non sempre presenti in quanto richiedono ampi spazi, i solidi sedimentabili si separano per gravità (fanghi primari); successivamente nelle vasche di ossidazione biologica viene insufflato l'ossigeno che consente ai batteri presenti nelle acque reflue di nutrirsi degli inquinanti presenti: in questo processo i batteri tendono ad unirsi tra loro formando i cosiddetti fiocchi di fango attivo (fanghi secondari o fanghi biologici), che precipitano nelle vasche di sedimentazione o chiarificazione separando di fatto gli inquinanti dall'acqua. I fanghi precipitati sul fondo delle vasche di sedimentazione (primaria e secondaria) vengono aspirati e trasferiti nella linea fanghi.

Infine l'acqua può essere sottoposta ad ulteriori trattamenti terziari e quaternari. I primi (dettagliati in trattamenti per la rimozione dell'azoto, del fosforo e trattamenti di disinfezione per il riutilizzo dell'acqua depurata o per limitare l'eutrofizzazione nel corpo idrico ricettore) sono per esempio la fitodepurazione, la filtrazione rapida su supporto granulare, la microstacciatura e la precipitazione chimica; i secondi (mirati alla rimozione di sostanze disciolte e sospese che sfuggono ai normali trattamenti biologici, in particolare microinquinanti organici ed inorganici e sostanze pericolose) sono per esempio assorbimento su carbone attivo, processi di ossidazione avanzata, trattamenti con membrane e scambio ionico (ARERA, 2014). Lo 0,7% dei reflui viene depurato con vasche Imhoff, utilizzate nel caso in cui non sia possibile collegarsi alla fognatura comunale, per gli insediamenti di piccole dimensioni (ARERA, 2021). La maggior parte dei metodi di trattamento avanzati (terziari e quaternari) richiede l'impiego di energia e/o risorse aggiuntive: con tali metodi il consumo di energia può aumentare

.....
1 Questa parte è tratta quasi integralmente dal report Economia circolare del cibo a Milano, ESTà (2020)

LINEA ACQUE

Liquami fognari

Grigliatura primaria

Grigliatura fine

Vasche
di dissabbiatura
o disoleotura

Vasche
di sedimentazione
primaria

Vasche
di ossidazione
biologica

Vasche
di sedimentazione
o chiarificazione

Trattamenti
terzari e
quaternari

Acqua depurata

Fanghi primari

FANGHI

Fanghi secondari

LINEA FANGHI

La linea dei fanghi
varia a seconda
dell'impianto
di trattamento

**ACQUA PER USO CIVILE,
PRODUTTIVO E IMMISSIONE
NEI CORSI IDRICI SUPERFICIALI**

tra il 10% e il 60% (EEA, 2022). Qualsiasi analisi costi-benefici condotta per aumentare i requisiti per il trattamento delle acque dovrebbe considerare anche l'impatto sulla qualità dei fanghi, in modo che la decisione sia presa con un quadro globale delle conseguenze (EUR EUA).

Al termine del ciclo, che dura circa 24 ore, l'acqua viene controllata in laboratorio e destinata ad uso produttivo (irriguo,...), civile (urbano, come la cura del verde pubblico,...), o immessa nei corpi idrici superficiali. L'intero processo e in particolare la fase di ossidazione biologica richiede un grande apporto di energia - lo studio Enerwater ha dimostrato che il trattamento secondario consuma la maggior parte dell'energia nel processo di trattamento, con un consumo compreso tra il 64% e il 74% dell'energia totale utilizzata dagli impianti di depurazione con dimensioni comprese tra 2.000 e 100.000 a.e. (abitanti equivalenti) (EEA, 2022) - che, negli impianti dotati di digestione anaerobica sulla linea fanghi, può provenire anche dal biogas generato.

Linea fanghi: a quali trattamenti va incontro il fango

I fanghi primari e secondari che precipitano nelle vasche di sedimentazione hanno una consistenza molto liquida, essendo costituiti per oltre il 90% da acqua: vengono quindi aspirati per essere inviati all'ispessitore, dove viene eliminata una parte di acqua al fine di aumentare la concentrazione di solidi e migliorare così le rese dei trattamenti successivi. L'ispessimento può avvenire nelle vasche di ispessimento - trincee dove il fango staziona per un tempo prolungato al fine di consentire l'evaporazione di una parte dell'acqua - o tramite nastropresse o filtropresse con l'ausilio di polielettroliti che consentono una rapida separazione dell'acqua dalla parte solida.

All'ispessimento segue una fase di stabilizzazione biologica - che può essere di digestione aerobica² o anaerobica, quest'ultima con produzione di biogas - in cui la sostanza organica viene parzialmente degradata, ovvero si riduce il contenuto di SV (solidi volatili³) rispetto a quello dei ST (solidi totali), riducendo anche putrescibilità, odori e contenuto di patogeni del fango⁴ (PRGR, 2022). Secondo ARERA il trattamento di digestione anaerobica è presente nell'80% degli impianti con potenzialità almeno pari a 10.000 a.e.: tra questi l'1,2% esegue un co-trattamento con FORSU e altri scarti organici e in circa il 12% di tali impianti avviene la valorizzazione energetica del biogas prodotto (ARERA, 2021).

I fanghi possono essere eventualmente sottoposti ad essiccamento per trasformare il fango da palabile a prodotto secco (tenore di sostanza secca

² Se questa si verifica all'interno dell'impianto di depurazione non si tratta di una fase di compostaggio, poiché non ci sono impianti di compostaggio integrati con i depuratori.

³ I solidi volatili sono quelli che a 600 °C si gassificano e pertanto non rimangono come cenere. I solidi non volatili (o residuo fisso) sono il residuo che si ottiene dopo l'incenerimento in forno a muffola alla temperatura di 600 °C.

⁴ Il contenuto di patogeni dipende molto dalle condizioni di salute della popolazione e dal destino fognario dei reflui ospedalieri, dei presidi sanitari, etc.

pari al 90%) da utilizzare come combustibili nei cementifici (Università degli Studi di Pavia, 2018). L'essiccamento, essendo energeticamente molto costoso, è presente solo nel 6,3% degli impianti con potenzialità superiore ai 10.000 a.e. e spesso si preferiscono soluzioni centralizzate presso gli impianti di dimensioni maggiori (ARERA, 2021). Il processo di essiccamento può essere anche necessario prima dell'incenerimento con recupero di energia.

La quantità di fanghi prodotta da un impianto viene misurata sia come fango "tal quale" che come "sostanza secca totale (SST)". I fanghi "tal quale" costituiscono la quantità di fango così come viene avviata a recupero a valle dei trattamenti citati. Il calcolo dei fanghi come SST viene fatto determinando la quantità di fango senza il contenuto di acqua. Questo calcolo è necessario in quanto la presenza dei diversi componenti all'interno del fango (presenza che deve rientrare nei limiti di legge) va espressa sulla SST e incide anche sulla superficie di terreno necessaria allo spandimento. Il valore di sostanza secca mediamente contenuta nei fanghi di depurazione prodotti è pari al 22% a livello nazionale, un dato in linea con la presenza negli impianti di tecnologie tradizionali di disidratazione meccanica (ARERA, 2019).

Le linee fanghi dei diversi depuratori possono essere molto diverse: nella maggior parte dei casi è presente il solo processo di ispessimento (funzionale a rendere il fango palabile e quindi gestibile anche per il trasporto) e non sono presenti trattamenti adeguati di finissaggio del fango (igienizzazione e stabilizzazione), necessari per l'utilizzo agronomico (e in generale per l'applicazione del fango al suolo, si ricorda che un certo grado di stabilizzazione è richiesto anche nel caso in cui il fango venga destinato in discarica). L'igienizzazione, ovvero l'abbattimento della carica patogena, avviene o con additivi chimici (per esempio calce viva) o con trattamenti biologici (digestione anaerobica e compostaggio); la stabilizzazione (abbattimento del carico organico al fine di ottenere una sostanza organica stabile) avviene esclusivamente con trattamenti biologici.

Se il fango prodotto dagli impianti di depurazione è passato solo attraverso un processo di ispessimento (disidratazione), per essere utilizzato necessita dunque di trattamenti aggiuntivi di igienizzazione e stabilizzazione: in questo caso viene inviato ad impianti "conto terzi", presso i quali, a seconda della qualità del fango, si decidono i trattamenti successivi (sarebbe comunque auspicabile igienizzare il fango dove viene prodotto, per evitare problemi di trasporto di matrici non igienizzate). Come indicato nel nuovo Programma Regionale di gestione dei Rifiuti (PRGR) lombardo, "il miglioramento delle caratteristiche di stabilizzazione dei fanghi dipende in larga misura da interventi di potenziamento e adeguamento delle linee di trattamento dei fanghi interni ai depuratori. Laddove ragioni tecniche o di spazio non rendano possibile tali adeguamenti, occorre inviare questi fanghi a trattamenti esterni che consentano il raggiungimento delle condizioni di stabilizzazione biologica".

DESTINI DEI FANGHI: INQUADRAMENTO

- Utilizzo agronomico:
 - Recupero diretto in agricoltura per spandimento (fanghi con autorizzazione R10): l'applicazione dei fanghi sui terreni agricoli è consentita solo se sono rispettate determinate soglie di legge (si veda la sezione relativa alla legislazione). Il fango utilizzato per spandimento conserva la qualifica di rifiuto.
 - Recupero indiretto: produzione di ammendanti e compost (perdono entrambi la qualifica di rifiuto):
 - Produzione di ammendanti/correttivi: si tratta di gesso da defecazione (CaSO_4) o carbonato di calcio da defecazione (CaCO_3), entrambi correttivi ai sensi del D.Lgs. 75/2010 (categoria di sostanze da apportare al suolo per modificarne e migliorarne proprietà chimiche anomale); il trattamento (chimico-fisico) prevede, per i fanghi idonei all'utilizzo agricolo, una idrolisi mediante trattamento con calce (CaO) e successivamente con acido solforico (H_2SO_4 , con precipitazione di CaSO_4) o con carbonato di calcio (CaSO_4 , con precipitazione di CaCO_3 ; il carbonato di calcio di defecazione non può più essere prodotto con fanghi di depurazione, come stabilito dal D.L. 77/2021 art. 37bis). Tramite questo processo di produzione (relativamente semplice ed economico) il fango perde la qualifica di rifiuto diventando un nuovo prodotto. Mentre la funzione di un fango idoneo per lo spandimento è quella di reintegro della sostanza organica e degli elementi fertilizzanti, i gessi da defecazione hanno un'azione acidificante (sono quindi da usare su terreni alcalini) e i carbonati un'azione di mitigazione dell'acidità (da usare su terreni acidi).
 - Co-compostaggio: per sottoporre il fango ad un processo di compostaggio è necessario miscelarlo ad un *bulking agent* (matrice ligno-cellulosica con ruolo strutturante, che ha la funzione di condizionare l'umidità e garantire sofficità in funzione di una buona aerazione, indispensabile per il corretto svolgimento delle reazioni bioossidative da parte delle popolazioni microbiche alla base del processo di biostabilizzazione aerobica della sostanza organica), per esempio scarti vegetali come il cippato delle ramaglie da potatura o altri scarti ligneo cellulosici recuperati dal comparto agricolo. Il co-compostaggio può anche prevedere la miscelazione con FORSU (frazione organica dei rifiuti solidi urbani).
 - Produzione di biogas (ed eventuale upgrading a biometano): attraverso la digestione anaerobica (in alcuni casi presente nella linea fanghi dei depuratori) si ha la produzione di biogas che in alcuni impianti - pochi al momento - subisce anche l'upgrade a biometano. Come si legge nel progetto PerFORM WATER 2030⁵, "indicativamente, i reflui di ogni abitante allacciato ad un impianto di depurazione che opera la digestio-

ne dei fanghi, possono produrre fino a 15 litri di metano al giorno”. La digestione anaerobica può avvenire insieme ad altre matrici organiche (co-digestione con FORSU, residui dell’industria agro-alimentare, scarti zootecnici) e questo consente di aumentare le rese di produzione del biogas (aumentando il carico putrescibile si aumenta l’efficienza del sistema) e produrre un digestato con un maggior contenuto di solidi. La co-digestione del fango con altri rifiuti (urbani o agro-industriali) richiede però un iter amministrativo complesso, perché integra l’attività di smaltimento dei rifiuti con il trattamento delle acque reflue (PRGR, 2022). In entrambi i casi (digestione o co-digestione), il digestato può essere recuperato in agricoltura (stesso destino del fango R10), ma pone problemi di spandimento perché è estremamente fluido anche se stabilizzato e inoltre può avere emissioni maleodoranti; per questo è bene prevedere un affinamento con co-compostaggio prima dell’utilizzo in agricoltura.

- Operazioni di ripristino ambientale: i fanghi possono essere utilizzati anche per recuperare terreni inquinati da composti organici tossici (aree industriali dismesse, cave abbandonate,...) tramite operazioni di bioremediation, dove si stimola l’attività biodegradativa degli organismi autoctoni introducendo nutrimento nel terreno. Per questo tipo di impiego bisogna sempre utilizzare una matrice intrinsecamente pulita, ma rispetto all’impiego agricolo è possibile utilizzare una matrice che non sia perfettamente stabilizzata.
- Trattamenti termici: incenerimento con recupero energetico, che può avvenire tramite co-incenerimento in impianti in cui vengono trattate anche altre tipologie di rifiuti come per esempio i rifiuti solidi urbani, o tramite mono-incenerimento in impianti dedicati ai soli fanghi. Il fango può anche essere impiegato nei cementifici in sostituzione del coke, ma in questo caso viene preventivamente essiccato generando una polvere costituita al 90% da sostanza secca ad alto potere calorifico (l’essiccamento può essere fatto anche per l’incenerimento). L’impiego nei cementifici prevede anche una parte di recupero di materia poiché le ceneri (frazione inerte) vengono utilizzate nel clinker (componente base del cemento). Si tratta comunque di un mercato ristretto, sia perché il fango essiccato è un rifiuto per utilizzare il quale è necessaria un’autorizzazione, sia perché le quantità impiegabili dipendono dalla domanda di cemento. I trattamenti termici sono sempre da valutare attentamente, sia per il basso potenziale calorico del fango - si tratta infatti di una sostanza costituita prevalentemente da acqua - sia per la presenza di metalli pesanti, critici per le emissioni degli impianti di incenerimento in atmosfera.
- Smaltimento in discarica o inceneritore: se nessuno degli utilizzi precedenti è possibile, è previsto lo smaltimento in discarica, pratica sempre più scoraggiata. Il fango avviato alla discarica deve comunque avere un certo grado di stabilizzazione. Come forma di smaltimento si segnala anche l’incenerimento senza recupero energetico (Ispra, 2021).
- Da ultimo, una parte dei fanghi prodotti viene inviata fuori nazione.

Il report dell’Agenzia Europea dell’Ambiente “Beyond water quality. Sewage treatment in a circular economy”, riporta posizioni molto polarizzate dei

COMPOSTAGGIO E DIGESTIONE ANAEROBICA, INCIDENZA SULLA QUALITÀ DELLE MATRICI ORGANICHE

I trattamenti biologici di digestione anaerobica e compostaggio hanno delle differenze in termini di igienizzazione e stabilizzazione della matrice organica.

Per quanto riguarda l’igienizzazione, questa è più spinta con il compostaggio, perché nella fase termofila del processo si raggiungono temperature ben al di sopra dei 65°/70°C, che sono un limite cautelativo per l’abbattimento non solo dei patogeni ma anche dei parassiti (le linee guida di Regione Lombardia sul compostaggio indicano almeno 3 giorni con temperature al di sopra dei 55°C). Anche la digestione anaerobica assicura un certo grado di igienizzazione, in particolare se termofila (temperature di circa 45 - 55°C); se si tratta di DA mesofila (temperature di circa 35-45°C, non sufficienti per abbattere la maggioranza dei patogeni) si ottiene comunque un grado di igienizzazione sufficiente per via delle condizioni di anaerobiosi e delle condizioni ostiche all’interno dei digestori. La co-digestione non implica una maggiore stabilizzazione rispetto alla DA.

Per quanto riguarda la stabilizzazione della matrice organica, il compostaggio è migliore della digestione anaerobica, poiché riesce ad humificare la sostanza organica (il processo di humificazione, che avviene in condizioni aerobiche, è lo stesso che avviene nel suolo). La digestione anaerobica opera invece una stabilizzazione parziale.

Inoltre il compostaggio può garantire un’azione di degradazione sugli idrocarburi più semplici (come le paraffine) maggiormente efficace rispetto alla digestione anaerobica. Gli idrocarburi più complessi (per esempio gli aromatici) non vengono degradati neppure dal processo di compostaggio. Per quanto riguarda i PFAS (idrocarburi i cui atomi d’idrogeno delle catene di carbonio sono sostituiti completamente o parzialmente da atomi di fluoro), attualmente la conoscenza dei processi di degradazione è ancora limitata: se fossero presenti nei fanghi potrebbero comprometterne l’utilizzo anche a seguito di un processo di compostaggio.

Infine, i processi biologici (compostaggio e DA) non possono agire sull’abbattimento dei metalli pesanti: poiché il compostaggio mineralizza una parte della sostanza organica (cioè la trasforma in acqua e CO₂), può anche determinare un aumento della concentrazione dei metalli pesanti nella matrice trattata.

diversi Paesi europeo in merito al destino dei fanghi di depurazione. In Germania una strategia nazionale vieta entro il 2032 l'applicazione dei fanghi di depurazione sul suolo per gli impianti di trattamento delle acque reflue urbane con oltre 50.000 a.e., richiedendo il recupero del fosforo attraverso il mono-incenerimento (strategia ProgGress). In Svezia, la politica si è spostata verso l'utilizzo sul suolo dei fanghi trattati, come parte di un approccio più circolare. Il raggiungimento di questo obiettivo ha richiesto uno sforzo significativo da parte di tutti i soggetti interessati per evitare la contaminazione chimica delle acque reflue, in modo che i fanghi risultanti non contengano inquinanti persistenti e si possa mantenere la fiducia dei cittadini nella qualità degli alimenti. In Svezia, le preoccupazioni relative ai contaminanti presenti nei fanghi avevano portato nei primi anni 2000 a raccomandare di non applicare i fanghi ai terreni. Tuttavia, nel 2008 una collaborazione tra agricoltori, autorità di regolamentazione e industrie idriche e alimentari ha portato alla certificazione REVAQ, che assicura la qualità dei fanghi applicati ai terreni agricoli; un'industria non può collegarsi a un impianto di trattamento delle acque reflue REVAQ se tratta, utilizza o produce una qualsiasi delle sostanze chimiche presenti nell'elenco dell'Agenzia Svedese per le Sostanze Chimiche (circa 7.500 sostanze da eliminare gradualmente). Ciò ha aumentato la fiducia degli agricoltori e dell'industria alimentare nell'uso dei fanghi e la quantità applicata ai terreni è passata dal 22% del 2011 al 45% nel 2018. Le scelte dei diversi Paesi si basano sulle condizioni geografiche locali (la disponibilità e le caratteristiche del terreno, la quantità di sostanza organica presente nel terreno stesso – più scarsa nei Paesi mediterranei e più abbondante nei Paesi del nord Europa), sui costi dei diversi destini e sul livello di preoccupazione per il carico inquinante dei fanghi (EEA, 2022).

COSTI DI SMALTIMENTO

Di seguito si fornisce una sintesi dell'articolo "Analysis of the variation of costs for sewage sludge transport, recovery and disposal in Northern Italy: a recent survey (2015–2021)" che analizza i costi di smaltimento dei fanghi nel Nord Italia.

Nei Paesi europei, sebbene il volume dei fanghi prodotti da un depuratore rappresenti solo una minima parte delle acque in ingresso, i costi per la gestione e lo smaltimento dei fanghi si attestano tra il 40% e il 60% dei costi di gestione dell'impianto di trattamento delle acque e i costi per delle diverse alternative di smaltimento hanno grande variabilità.

In Italia i costi di gestione dei fanghi (carico, trasporto, analisi, recupero/smaltimento) si attestano tra il 15% e il 40% dei costi di gestione dell'impianto di trattamento delle acque. Di seguito i costi unitari del servizio di gestione per il nord Italia:

- costi unitari come base di gara, 176,9 €/t nel 2021 (aumentati del 125% dal 2015, quando il costo era 78,6 €/t). Nel dettaglio:
 - trasporto: 30 €/t nel 2021 (era 13 €/t nel 2015)
 - recupero/smaltimento: 120 €/t nel 2021 (era 59 €/t nel 2015)
- costi unitari aggiudicati, 122,2 €/t nel 2021 (aumentati del 95% dal 2015, quando il costo era di 62,4 €/t). Nel dettaglio
 - trasporto: 22,8 €/t nel 2021 (era 5,7 €/t nel 2015)
 - recupero/smaltimento: 145,0 €/t nel 2021 (era 55,7 €/t nel 2015).

I costi unitari sono influenzati dalle seguenti variabili:

- qualità dei fanghi e tipo di recupero/smaltimento; lo smaltimento in discarica è il più costoso (anche il doppio del recupero), seguono il recupero energetico e l'utilizzo in agricoltura (il più economico). Per i fanghi essiccati il destino più economico è il cementificio. Il tipo di recupero/smaltimento a sua volta è influenzato dalla disponibilità di siti (terreni e impianti), dal numero e tipo di operatori sul mercato, dalla competitività e dal quadro normativo.
- distanza da percorrere
- cambiamenti nel quadro normativo

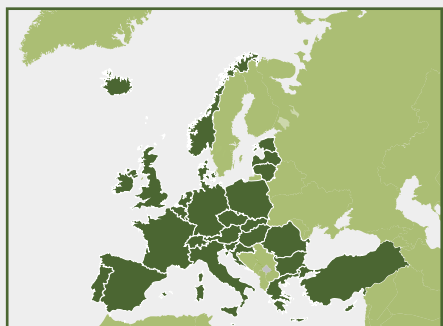
Il numero di impianti da servire, la quantità dei fanghi e l'area geografica sono variabili che non incidono sui costi unitari.



DESTINI DEI FANGHI



SCALA EUROPEA



2018
EU27 + SVIZZERA + NORVEGIA
LIECHTENSTEIN + TURCHIA +
ISLANDA
11,1 MILIONI
DI TONNELLATE DI FANGHI

17 kg/persona/anno
in sostanza secca



34% AGRICOLTURA
31% INCENERIMENTO
12% PRODUZIONE DI COMPOST
12% DISCARICA
10% ALTRO

SCALA NAZIONALE



2019
3,4 MILIONI
DI TONNELLATE DI FANGO
TAL QUALE



DEI 3,1 MILIONI DI TONNELLATE
DI FANGHI GESTITI

55,9% SMALTIMENTO
41,2% RECUPERO
(DATI ISPRA)

16% SMALTIMENTO
84% RECUPERO
(DATI ARERA)

VOLUMI DEI FANGHI PRODOTTI E RELATIVI DESTINI

Scala europea

Secondo l'Agenzia Europea per l'Ambiente (EEA, 2022), la produzione di fanghi in Europa (EU27 + Islanda, Liechtenstein, Norvegia, Svizzera e Turchia) nel 2018 è pari a 11,1 milioni di tonnellate (17 kg/persona, presumibilmente un dato in sostanza secca). Il destino di tali fanghi è per il 34% l'agricoltura, per il 31% l'incenerimento, per il 12% la produzione di compost e altre applicazioni e per il 12% la discarica (il restante 10% è genericamente indicato come altro).

Scala nazionale

Il Rapporto sui rifiuti speciali redatto annualmente da ISPRA (Ispra, 2021) indica nel 2019 per l'Italia una produzione di 3,4 milioni di tonnellate di fango tal quale (+ 8,6% rispetto al 2018), di cui il 13,6% prodotti dalla Lombardia (regione con il maggior quantitativo prodotto, più di 466 mila tonnellate). Dei 3,1 milioni di tonnellate di fanghi gestiti, il 55,9% è stato avviato a smaltimento e il 41,2% a recupero (la differenza a 100 è il quantitativo in giacenza al 31/12/2019). Sebbene lo smaltimento sia la forma di gestione prevalente, nel 2019 la percentuale di fanghi recuperati è aumentata rispetto al 2018 del 10,4%.

I dati dei destini dichiarati nella Relazione Annuale sullo stato dei Servizi redatta da ARERA annualmente (Arera, 2020), sono molto diversi: sempre nel 2019 in Italia, con elevate differenze tra zone geografiche, l'84% dei fanghi è stato avviato a recupero (39% compostaggio, 26% spandimento/R10, 13% recupero energetico - inceneritori o cementifici, compreso un 3% di mono-incenerimento - 26% altro) e il 16% è stato smaltito in discarica. L'impiego per scopi agricoli (sia spandimento diretto sui terreni, sia utilizzo indiretto per la produzione di ammendanti di origine organica - compost), risulta quindi l'attività prevalente per il recupero dei fanghi, per quanto in contrazione rispetto alla relazione precedente. Il recupero energetico, per quanto ancora minoritario, risulta invece in aumento. Notevoli sono le differenze tra aree geografiche: il recupero energetico (assente al Sud) è più diffuso tra i gestori del Nord, dove è anche più praticato lo spandimento diretto in agricoltura (probabilmente per una maggiore disponibilità di terreni agricoli adatti). Tra i gestori del Sud e Isole l'impiego nettamente prevalente è la produzione di compost, largamente praticato anche al Centro. I due rapporti (Ispra e Arera) hanno fonti diverse.

Scala lombarda

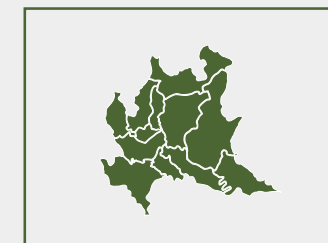
Per quanto riguarda la Lombardia si dispone del dato aggiornato al 2020, ovvero 468.783 tonnellate prodotte (Padovani, 2022). I destini sono così ripartiti: 37,1% trattamento chimico-fisico-biologico, 20,2% incenerimento, 18,4% agricoltura, 15,4% gessi da defecazione, 6% compostaggio, 2% discarica.

Come si legge nel PRGR lombardo, i fanghi classificati come trattamento chimico-fisico-biologico sono per la maggior parte fanghi inviati da piccoli depuratori a grandi depuratori che a loro volta producono fanghi: per evitare doppi conteggi questa parte va dunque sottratta. Inoltre, mentre una piccola parte dei fanghi prodotti viene inviata fuori regione (nel 2018 si trattava del 4%, inviati in particolare in Veneto, Piemonte ed Emilia Romagna), gli impianti lombardi trattano un quantitativo considerevole di fanghi provenienti da altre regioni (più di 400.000 tonnellate nel 2018). I dati 2018, riportati nel PRGR, consentono di avere il dettaglio (infografica pagina seguente).

Il PRGR, per limitare le importazioni di fanghi da fuori regione, auspica un coordinamento a livello normativo con regioni vicine; inoltre subordina l'accettazione di fanghi da fuori regione alla disponibilità di capacità residua degli impianti lombardi e all'effettivo fabbisogno agricolo di fertilizzanti chimici da sostituire con fanghi trattati.

Nel 2019, delle 466.295 tonnellate prodotte, circa 200.000 sono state ritirate da impianti "conto terzi", che nello stesso anno hanno ritirato più di 400.000 tonnellate di fanghi civili provenienti da fuori regione. In Lombardia sono 20 gli impianti autorizzati a ritirare i fanghi provenienti da terzi: tali impianti possono effettuare il recupero in agricoltura (R10) e/o produrre correttivi (gessi di defecazione, come definiti dal decreto legislativo 29 aprile 2010, n. 75, allegato 3). Alcuni (solo 4) sono impianti di digestione anaerobica, che poi recuperano in agricoltura il digestato (ARPA Lombardia, 2022). Progressivamente i fanghi ritirati dagli impianti "conto terzi" sono sempre più impiegati per la produzione di gessi di defecazione, nel 2019 quasi in percentuali uguali rispetto ai fanghi R10.

SCALA LOMBARDA



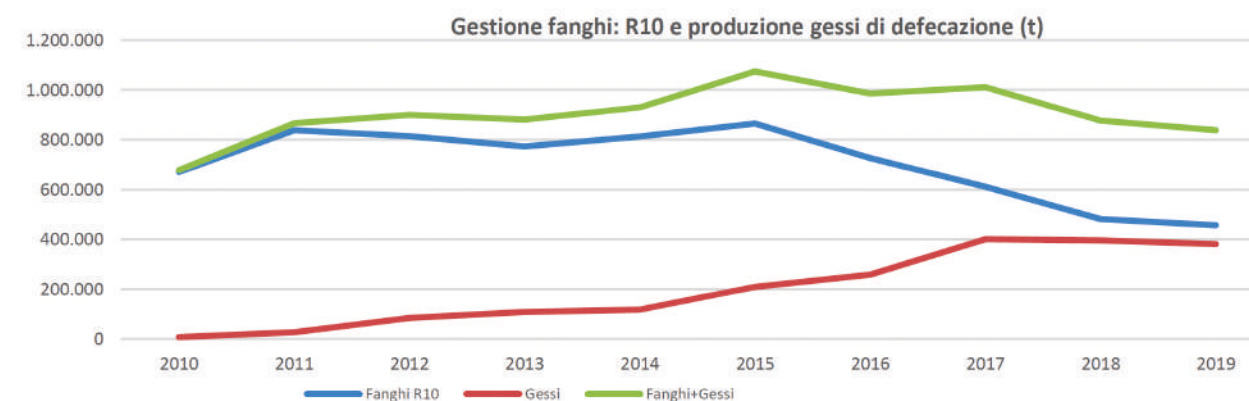
2020
468.783
TONNELLATE DI FANGHI



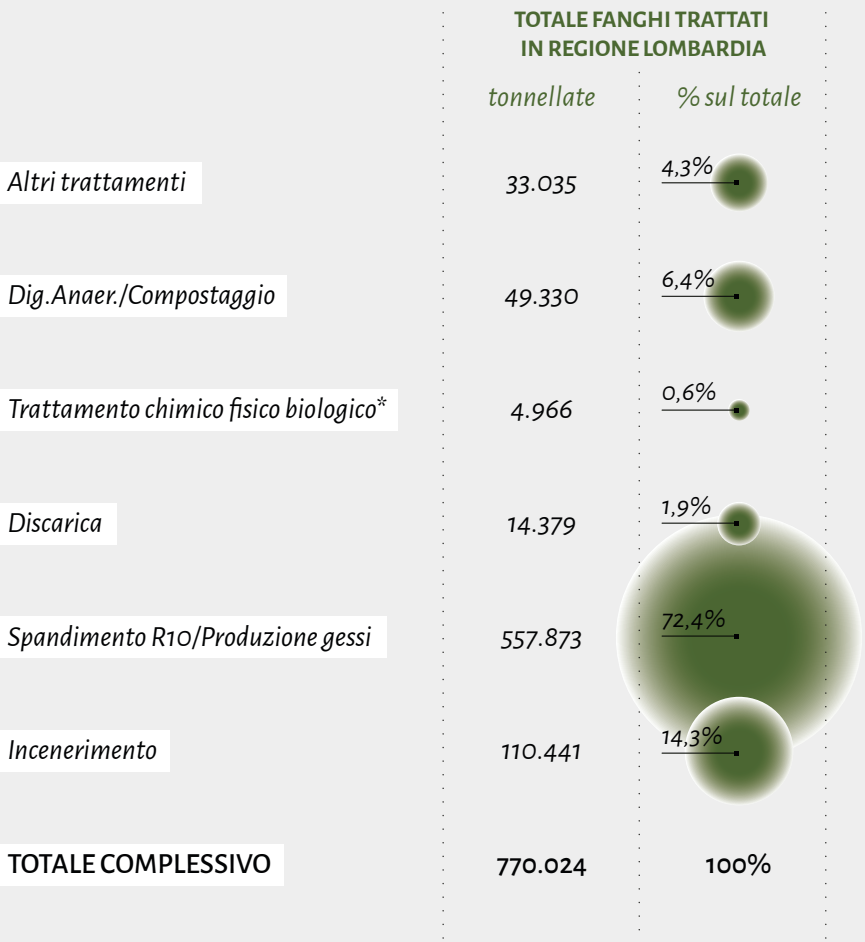
37,1% TRATTAMENTO CHIMICO-FISICO-BIOLOGICO
20,2% INCENERIMENTO
18,4% AGRICOLTURA
15,4% GESSI DA DEFECAZIONE
6% COMPOSTAGGIO
2% ALTRO

Fig. 1 Gestione fanghi: R10 e produzione gessi da defecazione

Fonte: PRGR, 2022



I FANGHI DA DEPURAZIONE ACQUE REFLUE URBANE (CODICE EER 190805) TRATTATI (GESTITI) IN LOMBARDIA (DATI 2018)



Fonte: rielaborazioni dal PRGR (PRGR, 2022)
(*sono già sottratti i quantitativi del doppio conteggio)

Città metropolitana di Milano

Il Sistema Idrico Integrato della Città metropolitana di Milano (e di alcuni comuni delle Province di Monza Brianza, Pavia, Como e Varese) è gestito dal Gruppo CAP, controllato al 100% dai 194 comuni ai quali viene fornito il servizio. In particolare, il sistema di depurazione dei 154 comuni serviti, con 40 impianti tratta i reflui di 2.413.572 abitanti. Il volume di fanghi prodotti nel 2021 è circa 70.780 (tal quale) di cui il 39% riutilizzati in agricoltura, una quantità analoga inviata ad incenerimento, il 14% utilizzato per la produzione di fertilizzanti (produzione fatta all'interno del depuratore di Peschiera Borromeo), il 4,6% smaltito in discarica e il 3,4% inviato ai cementifici (CAP, 2021).

CITTÀ METROPOLITANA DI MILANO



2021
- gestione gruppo CAP -

70.780
TONNELLATE DI FANGO
TAL QUALE



39% AGRICOLTURA
39% INCENERIMENTO
14% PRODUZIONE FERTILIZZANTI
15,4% GESSI DA DEFECAZIONE
4,6% SMALTIMENTO
3,4% CEMENTIFICI

Tab. 1 Destinazione finale dei fanghi prodotti dai depuratori CAP
Fonte: CAP, 2021

Destinazione finale dei fanghi (ton)	2019	2020	2021
Agricoltura	23.070,00	26.697,33	27.633,64
Discarica *	7.830,00	3.472,16	3.257,29
Termovalorizzazione	20.296,00	23.386,87	27.685,38
Cementificio	2.319,00	2.122,66	2.406,66
Trattamento	2.632,00	0,00	0,00
Fertilizzante	5.136,00	3.420,38	9.797,77
Totale	61.283,00	5.099,40	70.780,74
In uscita (fango essiccato)	2.760,00	2.859,86	2.815,89
In ingresso all'essiccatore di San Giuliano Ovest (fango disidratato)	12.687,06	12.223,02	10.960,69

*Comprensivo di fango essiccato (in uscita da essiccatore)

Il dato totale 2020 è 59.099,40 (non 5.099,40), c'è un errore nel documento CAP

COMUNE DI MILANO



2021

- gestione MM -

57.300
TONNELLATE DI FANGO
TAL QUALE



73% VETTORE ENERGETICO
27% AGRICOLTURA

Città di Milano

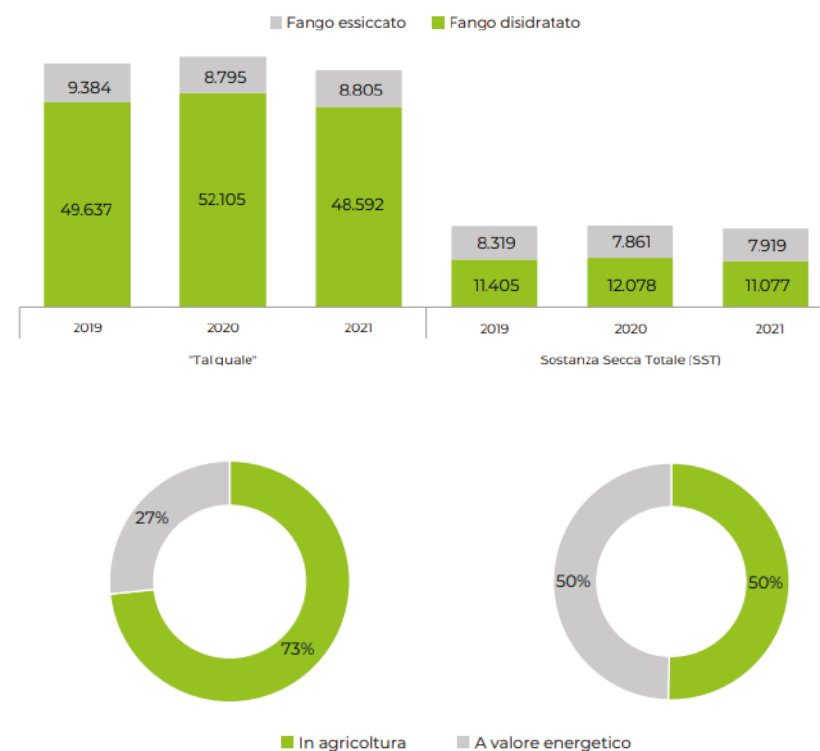
Il Servizio Idrico Integrato della Città di Milano è gestito da MM, società di ingegneria interamente partecipata dal Comune di Milano. In particolare, il sistema di depurazione con i due depuratori di Milano San Rocco e Nosedo (capacità autorizzata fino a 2.286.000 abitanti equivalenti) tratta circa il 90% delle acque reflue prodotte nell'area milanese (il restante 10% è trattato dal depuratore di Peschiera Borromeo, del Gruppo CAP).

La "linea fanghi" nei due depuratori prevede diversi trattamenti, quali ispessimento, stabilizzazione, disidratazione ed essiccamento termico. I fanghi generati, da anni vengono interamente inviati a recupero di materia ed energia: MM si colloca quindi nella classe "A" per il macro-indicatore M5 "Smaltimento fanghi in discarica" individuato da ARERA nella regolazione della qualità tecnica del Servizio Idrico Integrato, che prevede l'assenza di fanghi smaltiti in discarica.

I quantitativi di fanghi trattati dai depuratori nel 2021 (circa 57.300 tonnellate "tal quale" e 19.000 come s.s.) risultano in linea con i quantitativi del 2020 (leggera diminuzione del 5% se considerati come sostanza secca e del 6% se espressi come "tal quale"). La destinazione è per il 73% a vettore energetico e per il 27% a recupero in agricoltura (le percentuali diventano entrambe del 50% e calcolate sulla s.s.) (MM, 2021).

Fig. 2 Produzione e destino dei fanghi prodotti dai depuratori MM

Fonte: MM, 2021



PRINCIPALI QUESTIONI PER L'UTILIZZO AGRICOLO

Come già detto, i fanghi contengono sostanze preziose per il terreno e l'agricoltura, nutrienti come fosforo, azoto e carbonio organico.

I fanghi, se soddisfano i limiti di legge, vengono apportati al terreno anche in forma fresca, ovvero senza aver raggiunto un adeguato grado di stabilizzazione: questa pratica è da eliminare poiché la forma fresca è una sostanza organica in divenire che sul terreno va incontro ad una serie di reazioni negative per il terreno stesso (è nefasta per le piante in corso di coltura, avendo un effetto fitotossico anche in assenza di inquinanti; nell'agricoltura tradizionale anche il letame non veniva mai apportato fresco al terreno ma veniva fatto stazionare per mesi nelle letamaie o concimaie fino a che non diventava maturo/umificato).

E' importante dunque che i fanghi apportati al terreno siano stabilizzati (in questo caso si chiamano biosolidi, termine mutuato dall'equivalente inglese biosolids, recentemente introdotto dall'industria del trattamento delle acque per indicare fanghi che, a seguito di specifico trattamento per la stabilizzazione e la riduzione degli agenti patogeni, arrivano a soddisfare i requisiti per l'applicazione sui terreni agricoli. Il termine biosolidi aiuta inoltre a distinguere i fanghi di depurazione derivanti da trattamento biologico dai fanghi industriali ottenuti mediante processi di depurazione chimico-fisici). Secondo l'ormai vasta letteratura tecnico-scientifica al riguardo, una volta sottoposti a trattamento di stabilizzazione, i fanghi/biosolidi divengono una matrice organica ricca di nutrienti che può essere applicata come ammendante per mantenere e/o migliorare la produttività dei terreni e stimolare la crescita delle piante. In particolare, i biosolidi influiscono positivamente sulle proprietà del suolo, quali la struttura e la capacità di ritenzione idrica, così da rendere più favorevoli le condizioni di sviluppo degli apparati radicali e da incrementare la capacità di tolleranza delle piante alla siccità. L'applicazione dei biosolidi al terreno apporta nutrienti fondamentali per la crescita delle colture, principalmente azoto (N) e fosforo (P), nonché alcuni microelementi essenziali come nichel (Ni), zinco (Zn) e rame (Cu). L'azoto e il fosforo associati ai biosolidi ricorrono in forma di composti organici che offrono il vantaggio – rispetto alle forme presenti nei fertilizzanti inorganici – di rilasciare e rendere disponibili per le piante i nutrienti, lentamente durante la crescita. Nei biosolidi:

- la sostanza organica è stabile, quindi non immediatamente degradabile
- è pressoché nulla la disponibilità in tempi brevi dei nutrienti
- si riduce la carica degli organismi patogeni
- si abbate la putrescibilità riducendo il carattere attrattivo nei confronti di zanzare, mosche, pulci, roditori, uccelli e altri organismi potenziali vettori di malattie

La stabilizzazione del fango avviene per digestione anaerobica (o co-digestione) e per co-compostaggio. Nel primo caso il digestato (con autorizzazione R10) deve essere trasportato subito con carro botte sul sito di spandimento (sul terreno nudo o in aricoltura), oppure potrebbe essere utilizzato per il ripristino di terreni degradati (scarpate franose), o può

I FANGHI CONTENGONO SOSTANZE PREZIOSE PER IL SUOLO E L'AGRICOLTURA

CARBONIO, FOSFORO, AZOTO

se soddisfano i limiti di legge, è importante portarli al terreno una volta

STABILIZZATI (BIOSOLIDI)

La **STABILIZZAZIONE** avviene

per **DIGESTIONE (O CO-DIGESTIONE) ANAEROBICA**

per **CO-COMPOSTAGGIO**

e comporta

SOSTANZA ORGANICA STABILE

NUTRIENTI RILASCIATI LENTAMENTE

RIDUZIONE CARICA ORGANISMI PATOGENI

ABBATTIMENTO PUTRESCIBILITÀ

andare a co-compostaggio; nel secondo caso (co-compostaggio) si produce compost con quindi possibilità di stoccaggio (quest'ultima è la condizione ottimale che rende l'utilizzo dei fanghi di depurazione perfettamente allineato con i tempi e le necessità delle diverse tipologie di piano colturale adottate dalle aziende agricole).

Nonostante la stabilizzazione i fanghi possono contenere sostanze inquinanti dannose per l'ambiente (suolo, piante e acque superficiali e sotterranee; per le acque possibile una contaminazione attraverso il dilavamento del terreno - in presenza di acque meteoriche o irrigue - che

Nonostante la

STABILIZZAZIONE

i **FANGHI** possono contenere **SOSTANZE INQUINANTI**

INORGANICHE

METALLI PESANTI

ORGANICHE

BIFENILI POLICLORURATI, DIOSINE,
PRODOTTI FARMACEUTICI E
TENSIOATTIVI, SOST. PSICOTROPE

AGENTI PATOGENI

BATTERI, VIRUS, PARASSITI

POTENZIALMENTE DANNOSE

PER L'AMBIENTE

SUOLO, PIANTE, ACQUE SUPERFICIALI
E SOTTERRANEE

PER LA SALUTE

La **PRESENZA DI INQUINANTI** non rappresenta necessariamente un rischio reale per la salute pubblica e ambiente ma, poichè **ESISTE INCERTEZZA, È NECESSARIO:**



IMPEDIRE LA CONTAMINAZIONE DELLE ACQUE REFLUE



PRESTARE PARTICOLARE ATTENZIONE AGLI INQUINANTI EMERGENTI



RIDURRE I DUBBI SUI POTENZIALI EFFETTI NEGATIVI ATTRAVERSO LA RICERCA SCIENTIFICA

è stato oggetto di spandimento di fango) e per la salute umana. La qualità dei fanghi è totalmente definita dalle acque da cui provengono: impedire la contaminazione delle acque reflue da parte di inquinanti persistenti e pericolosi consentirebbe di riciclare i fanghi di depurazione sul terreno, senza che ciò comporti il timore che tali sostanze possano inquinare in modo diffuso il suolo, le piante e l'acqua. Storicamente, gli inquinanti chimici sono stati considerati in gran parte provenienti dall'industria e dall'agricoltura, tuttavia, le restrizioni sugli scarichi industriali, in particolare quelli provenienti da fonti puntuali, hanno portato a una diminuzione

dell'importanza di questa fonte. Una ricerca condotta nel Regno Unito ha mostrato che la fonte più significativa di microinquinanti negli impianti di trattamento delle acque sono le abitazioni (EEA, 2022). Inoltre arrivano agli impianti di depurazione anche le acque di prima pioggia che portano con sé le sostanze nocive presenti sulle strade.

Gli inquinanti presenti nei fanghi (NRC, 2002) sono:

- inquinanti inorganici (es. metalli pesanti ed elementi in traccia)
- inquinanti organici (es. bifenili policlorurati - noti come PCB - diossine, prodotti farmaceutici e tensioattivi, sostanze psicotrope)
- agenti patogeni (es. batteri, virus e parassiti).

Alcuni farmaci possono avere un'affinità per l'acqua e quindi rimanere nella fase acquosa; l'entità dell'accumulo di farmaci nei fanghi è attualmente oggetto di ricerca. La prevalenza di microinquinanti nei fanghi di depurazione è generalmente bassa e i dati esistenti suggeriscono che la natura e la concentrazione degli inquinanti fanno sì che i rischi per la salute umana e l'ambiente rimangano a un livello molto basso. Microinquinanti come il cadmio (Cd) e il mercurio (Hg) possono essere trovati a concentrazioni di 1mg/kg DS, e altri sono ancora più bassi (Eur Eau, 2021). L'accumulo di metalli pesanti nel suolo è da mettere in relazione ai seguenti fattori: concentrazione nei fanghi, dosi di utilizzo e caratteristiche dei suoli, in grado di influenzare l'accumulo e l'assorbimento da parte delle colture praticate (PRGR, 2022).

La presenza nei biosolidi di determinate sostanze ritenute contaminanti non significa necessariamente che tali composti rappresentino un rischio reale per la salute pubblica e per l'ambiente. Tuttavia questa incertezza spesso esiste per mancanza di documentazione scientifica, cosicché i trattamenti per trasformare i fanghi in biosolidi non forniscono sicurezza assoluta e duratura rispetto alla accettabilità degli stessi per uso agricolo. E' perciò necessario un incessante lavoro scientifico per ridurre i dubbi sui potenziali effetti negativi sulla salute umana derivanti dall'esposizione ai biosolidi. Si ricorda infatti che i fanghi civili sono classificati come rifiuti non pericolosi ab origine e quindi non è richiesta la ricerca di molte sostanze pericolose (il D.Lgs 92/99 faceva riferimento ad una vecchia normativa sui rifiuti - DPR 915/82 - e dunque richiedeva la ricerca di una lunga lista di inquinanti; con l'entrata in vigore del decreto legislativo 152/2006 e la classificazione dei fanghi come rifiuti non pericolosi la ricerca di queste sostanze non è più richiesta (Lanz, 2022). Di fatto, per i contaminanti organici, uno studio internazionale del 2011 ha stabilito che la ricerca sui questi inquinanti nei biosolidi protrattasi per oltre 30 anni ed il crescente corpo di evidenze disponibili dimostrano che la maggior parte dei composti studiati non mette a rischio la salute umana quando i biosolidi vengono riciclati nei terreni agricoli (Clarke e Smith, 2011). Il medesimo studio sottolinea inoltre come sia necessaria tuttavia una continua vigilanza per valutare il significato e le implicazioni della presenza di contaminanti emergenti nei fanghi (interferenti endocrini - ad es.: nei detergenti, nelle fragranze e in altri additivi dei prodotti dell'igiene personale e della cosmesi - PFAS, farmaci e loro metaboliti, residui di sostanze stupefacenti) al fine di supportare e garantire la sostenibilità e la sicurezza a lungo termine dell'impiego dei biosolidi in agricoltura.

La prima azione da fare è naturalmente eliminare gli inquinanti alla fonte ed impedire che quelli non eliminabili raggiungano le acque di scarico. Il principale strumento di gestione del rischio è la legislazione.

Tab. 2 Costituenti tipici del fango di depurazione e delle acque reflue urbane

Fonte: EEA, 2022

Substance	Examples	Source	Impact
Microorganisms	Pathogenic bacteria, viruses, worms and their eggs, protozoa	Faeces	Human health risks when bathing, eating shellfish
Biodegradable, organic materials	Carbohydrates, starch, volatile fatty acids, proteins, cellulose	Faeces, food	Oxygen depletion in rivers and lakes causing deaths of fish and other aquatic life forms , odour
Other organic materials	Fats and oils, solvents, phenols, surfactants, detergents	Kitchen and domestic waste, industry	Toxicity, bioaccumulation
Nutrients	Nitrogen, phosphorus, ammonium	Urine and faeces, food	Eutrophication, oxygen depletion, toxicity
Micropollutants	Medicines, food additives, phthalates, biocides, flame retardants, PFASs, pesticides, plastics, etc.	Urine and faeces, food, human activities, industry	Toxicity, bioaccumulation, sublethal effects, e.g. on growth and reproduction. Contamination of drinking water resources
Metals	Zinc, copper, cadmium, lead, chromium, mercury, nickel, silver	Homes and industry	Toxicity, bioaccumulation
Other inorganic materials	Acids (e.g. hydrogen sulphide), alkalis	Homes and industry	Corrosion, toxicity

Note: PFASs, polyfluorinated alkyl substances.

INQUADRAMENTO NORMATIVO RELATIVO ALL'UTILIZZO DEI FANGHI IN AGRICOLTURA

I fanghi da depurazione delle acque reflue urbane coinvolgono da un lato la normativa sulla tutela delle acque – che con l'inserimento di limiti sempre più stringenti porta ad un aumento della produzione dei fanghi stessi - e dell'altro quella sui rifiuti (normativa nazionale (D.Lgs 152/06) ed europea (direttiva 98/2008/CE)) – con una gerarchia che prevede la minimizzazione della produzione, il recupero di materia, il recupero energetico e, da ultimo, lo smaltimento in discarica.

In Europa la normativa base vigente per l'utilizzo dei fanghi di depurazione in agricoltura è la direttiva 86/278/ CEE del 12 giugno 1986 (concernente la protezione dell'ambiente, in particolare del suolo, nell'utilizzazione dei fanghi di depurazione in agricoltura), attualmente in fase di valutazione (EEA, 2022) L'obiettivo dichiarato della direttiva è quello di incoraggiare il recupero dei fanghi in agricoltura, proteggendo suolo, vegetazione, animali e uomo. Il piano d'azione per l'economia circolare (adottato l'11 marzo 2020) impegna la Commissione a prendere in considerazione la revisione della direttiva, non essendo più in linea con le recenti acquisizioni tecnico-scientifiche, sia in materia di rilevazione degli inquinanti sia in relazione alla valutazione del rischio ecotossicologico dello spandimento sui suoli agricoli.

Gli Stati membri nel tempo hanno introdotto norme più restrittive rispetto

a quelle indicate nella direttiva⁶. In Italia l'utilizzo dei fanghi di depurazione in agricoltura è normato dal D.Lgs 99/1992, attuazione della direttiva comunitaria 86/278/CEE. La norma definisce i fanghi come i residui derivanti dai processi di depurazione delle acque reflue provenienti esclusivamente da insediamenti civili, misti (civili e produttivi) e produttivi (negli ultimi due casi i fanghi devono essere assimilabili ai primi, ovvero possedere caratteristiche sostanzialmente non diverse da quelle possedute dai fanghi provenienti esclusivamente da insediamenti civili). Definisce le condizioni per l'utilizzazione dei fanghi in agricoltura, alcune delle quali riguardano i fanghi, altri i suoli che li ricevono.

Per quanto riguarda i fanghi, questi devono :

- Essere stati sottoposti a trattamento (biologico, chimico o termico, a deposito a lungo termine ovvero ad altro opportuno procedimento, in modo da ridurre in maniera rilevante il loro potere fermentescibile e gli inconvenienti sanitari della loro utilizzazione, ovvero il recupero dei fanghi mediante il loro spandimento sul suolo o qualsiasi altra applicazione sul suolo e nel suolo) ;
- Essere idonei a produrre un effetto concimante e/o ammendante e correttivo del terreno;
- non contenere sostanze tossiche e nocive e/o persistenti, e/o bioaccumulabili in concentrazioni dannose per il terreno, per le colture, per gli animali, per l'uomo e per l'ambiente in generale;
- Avere valori massimi di concentrazione di metalli pesanti (All IB);
- Avere, a differenza della Direttiva 86/278/CEE anche limiti inferiori di concentrazione di carbonio organico, azoto totale e fosforo totale e un limite massimo di concentrazione delle salmonelle (All IB).

Per quanto riguarda i suoli, i fanghi devono:

- essere utilizzati su suoli nei quali la concentrazione di uno o più metalli pesanti non superi alcuni valori limite (All IA).
- Essere utilizzati entro certi quantitativi per ettaro a seconda delle caratteristiche dei terreni stessi (per evitare accumulo indesiderato di sostanze e nutrienti nel suolo).

Definisce su quali terreni è vietato applicare i fanghi (art 4), tra gli altri su terreni destinati a pascolo, a prato pascolo, a foraggiere, anche in consociazione con altre colture, nelle 5 settimane che precedono il pascolo o la raccolta di foraggio; terreni destinati all'orticoltura e alla frutticoltura i cui prodotti sono normalmente a contatto diretto con il terreno e sono di norma consumati crudi, nei 10 mesi precedenti il raccolto e durante il raccolto stesso.

Definisce le norme tecniche (Art. 12) che precisano le modalità di raccolta, trasporto, stoccaggio, condizionamento e applicazione.

Il D.Lgs stabilisce le competenze delle Regioni, per esempio la possibilità di indicare ulteriori limiti e condizioni di utilizzazione in agricoltura per i diversi tipi di fanghi in relazione alle caratteristiche dei suoli, ai tipi di colture praticate, alla composizione dei fanghi, alle modalità di trattamento.

6 La variabilità molto elevata da paese a paese riguarda anche i limiti per i metalli pesanti, i microinquinanti organici e gli standard igienico-sanitari (Mininni, 2017).

Come nella Direttiva 86/278/CEE, non vengono disciplinate le concentrazioni di inquinanti quali per esempio idrocarburi e fenoli, per i quali bisogna fare riferimento al Decreto Genova. Infatti ad oggi la definizione dei limiti qualitativi da rispettare, al fine di definire i fanghi di depurazione come idonei per il riutilizzo in agricoltura, è contenuta nell'art. 41 del c.d. "Decreto Genova" (D.L. 109/2018) del 28 settembre 2018. Art. 41 - Disposizioni urgenti sulla gestione dei fanghi di depurazione⁷: "Al fine di superare situazioni di criticità nella gestione dei fanghi di depurazione, nelle more di una revisione organica della normativa di settore, continuano a valere, ai fini dell'utilizzo in agricoltura dei fanghi di cui all'art. 2, comma 1, lettera a), del decreto legislativo 27 gennaio 1992, n. 99, i limiti dell'Allegato IB del predetto decreto, fatta eccezione per gli idrocarburi (C10-C40), per gli idrocarburi policiclici aromatici (IPA), per le policlorodibenzodiossine e i policlorodibenzofurani (PCDD/PCDF), per i policlorobifenili (PCB), per Toluene, Selenio, Berillio, Arsenico, Cromo totale e Cromo VI, per i quali i limiti sono i seguenti:

- idrocarburi (C10-C40) ≤ 1.000 (mg/kg tal quale),
- sommatoria degli IPA elencati nella tabella 1 dell'allegato 5 al titolo V della parte quarta del decreto legislativo 3 aprile 2006, n. 152, ≤ 6 (mg/kg SS),
- PCDD/PCDF + PCB DL ≤ 25 (ng WHO-TEQ/kg SS),
- PCB $\leq 0,8$ (mg/kg SS),
- Toluene ≤ 100 (mg/kg SS),
- Selenio ≤ 10 (mg/kg SS),
- Berillio ≤ 2 (mg/kg SS),
- Arsenico < 20 (mg/kg SS),
- Cromo totale < 200 (mg/kg SS)
- Cromo VI < 2 (mg/kg SS).

Ai fini della presente disposizione, per il parametro idrocarburi C10-C40, il limite di 1000 mg/kg tal quale si intende comunque rispettato se la ricerca dei marker di cancerogenicità fornisce valori inferiori a quelli definiti ai sensi della nota L, contenuta nell'allegato VI del regolamento (CE) n. 1272/2008 del Parlamento europeo e del Consiglio, del 16 dicembre 2008, richiamata nella decisione 955/2014/UE della Commissione del 16 dicembre 2008, come specificato nel parere dell'Istituto superiore di Sanità, protocollo n. 36565 del 5 luglio 2006, e successive modificazioni e integrazioni".

Attualmente, con l'art. 15 della L. 117/19 il Governo è stato delegato ad "adottare una nuova disciplina organica in materia di utilizzazione dei fanghi, anche modificando la disciplina stabilita dal decreto legislativo 27 gennaio 1992, n. 99, al fine di garantire il perseguimento degli obiettivi di conferimento in discarica previsti dalle disposizioni di cui all'articolo 1, numero 4), della direttiva (UE) 2018/850". In particolare si chiede di:

- adeguare la normativa alle nuove conoscenze tecnico-scientifiche in materia di sostanze inquinanti;
- considerare adeguatamente le pratiche gestionali e operative del settore;

7 www.gazzettaufficiale.it/eli/id/2018/11/19/18A07450/sg

- disciplinare la possibilità di realizzare forme innovative di gestione finalizzate specialmente al recupero delle sostanze nutritive e in particolare del fosforo;
- garantire la gestione e l'utilizzo dei fanghi in condizioni di sicurezza per l'uomo e per l'ambiente;
- prevedere la redazione di specifici piani regionali di gestione dei fanghi di depurazione delle acque reflue, all'interno dei piani regionali di gestione dei rifiuti speciali, mirati alla chiusura del ciclo dei fanghi nel rispetto dei principi di prossimità e di autosufficienza.

È quindi allo studio un nuovo decreto fanghi di cui al momento è circolata la seconda bozza che, se e quando sarà approvata, sostituirà il D.Lgs 99/92 e l'art. 41 del D.L. 109/18.

L'utilizzo diretto per spandimento dei fanghi in agricoltura è soggetto alla Direttiva Nitrati (91/676/CEE) del Consiglio (successivamente recepita dalla normativa italiana DL11 maggio 1999, n. 152 e DM 7 aprile 2006) relativa alla protezione delle acque dall'inquinamento provocato dai nitrati provenienti da fonti agricole. Infatti i nitrati, utili al terreno agricolo, comportano un elevato rischio di inquinamento delle acque di falda per percolazione da aree agricole, a causa della pratica della fertilizzazione dei terreni su vasta scala, incluso lo spandimento dei fanghi di depurazione. La direttiva, parte integrante della Direttiva Quadro sulle Acque, rappresenta uno degli strumenti chiave per la protezione delle acque contro la pressione esercitata dall'attività agricola e stabilisce una serie di azioni che gli Stati membri sono chiamati ad attuare: la suddivisione dell'intero territorio nazionale in Zone vulnerabili (ovvero le zone che scaricano nelle acque e che concorrono all'inquinamento) e Zone Non vulnerabili da Nitrati, con le dosi massime di N da refluio che si possono portare al campo (170 kg di N da refluio / ha / anno nelle zone vulnerabili; 340 kg di N da refluio / ha / anno nelle zone non vulnerabili) e la definizione di programmi di azione che dettagliano le modalità e tempistiche con cui possono essere effettuati gli spandimenti. Infine, i fanghi di depurazione delle acque (che sono costituenti di alcuni fertilizzanti come il gesso da defecazione e l'ammendante compostato misto) sono anche impattati dal Regolamento (UE) 2019/1009 del 5 giugno 2019 (che sostituisce il Regolamento (CE) n. 2003/2003 del Parlamento Europeo e del Consiglio del 13 ottobre 2003 relativo ai concimi) che disciplina l'immissione sul mercato di fertilizzanti a marchio UE e che garantisce, per i fertilizzanti organici prodotti da rifiuti, la cessazione della qualifica di rifiuto (si veda il capitolo relativo alla FORSU). I fertilizzanti CE sono raggruppati in categorie funzionali di prodotto (PFC, elencate nell'allegato I) a loro volta costituite da una o più categorie di materiali costitutivi (CMC, elencate nell'allegato II). Il regolamento stabilisce che i fanghi di depurazione non sono ammessi tra i fertilizzanti europei, poiché non possono entrare nella composizione di alcun materiale costituente (il divieto di utilizzo è espressamente citato solo nel CMC3 – compost - e nel CMC5 - digestato diverso da quello di colture fresche - ma questo non vuol dire che negli altri CMC possano essere utilizzati). Secondo alcuni questo è fortemente in contrasto con i principi dell'economia circolare, poiché non ci sono evidenze scientifiche del fatto che i fanghi siano più

contaminati di altri rifiuti; la posizione della UE è probabilmente dovuta alla preoccupazione per gli inquinanti emergenti (antibiotici, sostanze con effetto ormonosimile, PFAS).

Nel nuovo regolamento fertilizzanti è scritto: "Senza indebito ritardo dopo il 15 luglio 2019, la Commissione valuta la struvite, il biochar e i prodotti a base di cenere. Se la valutazione conclude che sono rispettati i criteri di cui al paragrafo 1, lettera b), la Commissione adotta atti delegati in conformità del paragrafo 1 al fine di includere tali materiali nell'allegato II" (allegato II: categorie di materiali costituenti). Con il Regolamento Delegato (UE) 2021/2086 della Commissione del 5 luglio 2021 che modifica gli allegati II e IV del regolamento (UE) 2019/1009 del Parlamento europeo e del Consiglio vengono di fatto aggiunti i precipitati di sali di fosfato e i loro derivati come categoria di materiali costituenti nei prodotti fertilizzanti dell'UE. Tali precipitati di sali di fosfato possono essere ottenuti per precipitazione anche dalle acque reflue e dai fanghi di depurazione provenienti da impianti municipali di trattamento delle acque reflue (e anche dai rifiuti organici derivanti dalla raccolta differenziata).

Si ricorda che in agricoltura biologica non sono ammessi i fanghi di depurazione delle acque reflue civili.

La regolamentazione in Regione Lombardia

L'utilizzo in agricoltura dei fanghi di depurazione in Regione Lombardia è normato da:

- d.g.r. 1° luglio 2014, n. X/2031 "Disposizioni regionali per il trattamento e l'utilizzo, a beneficio dell'agricoltura, dei fanghi da depurazione delle acque reflue di impianti civili ed industriali in attuazione dell'art. 8, comma 8, della legge regionale 12 luglio 2007, n. 12. Conseguente integrazione del punto 7.4.2, comma 6, n. 2) della d.g.r. 18 aprile 2012, n. IX 3298, riguardante le linee guida regionali per l'autorizzazione degli impianti per la produzione di energia elettrica da fonti energetiche rinnovabili"; aggiornata con le disposizioni d.g.r. 17 giugno 2019 n. XI/1777. La delibera regionale 2031/2014 (art. 6.2 «Condizioni e modalità di utilizzo dei fanghi», lettera d) precisa che l'impiego per uso agronomico dei fanghi è autorizzato: sui terreni coltivati purché gli stessi non siano già oggetto di utilizzazione agronomica di effluenti di allevamento; sui terreni che non siano territorialmente localizzati in comuni in cui la produzione di effluenti di allevamento dovuta al carico zootecnico insistente sugli stessi, correlato alle coltivazioni presenti sul territorio comunale, supera il limite fissato dalla Direttiva nitrati e dalla norma regionale di settore (170 kgN/ha/anno per le zone vulnerabili; 340 kgN/ha/anno per le zone non vulnerabili). L'impossibilità di utilizzare i fanghi su terreni che ricevono effluenti di allevamento è ribadita dal Programma d'azione per le zone vulnerabili da nitrati (d.g.r. 2893/2020, capitolo 3.1.3) e dalle Linee guida per le zone non vulnerabili (d.g.r. 3001/2020, capitolo 3.1.3):
- d.g.r. 6 giugno 2016, n. X/5269 "Prescrizioni integrative tipo per le autorizzazioni all'utilizzo, a beneficio dell'agricoltura, dei fanghi di depurazione delle acque reflue di impianti civili ed industriali"; redatto al fine

- di garantire un uso efficiente dei fanghi sotto l'aspetto agronomico, secondo criterio di “buona pratica agricola”, e nel contempo impedire le possibili molestie olfattive derivanti da tale attività, con l'obiettivo di limitare (i) i quantitativi di accumulo dei fanghi in attesa di spandimento; (ii) le tempistiche di spandimento ed interrimento dei fanghi; (iii) il periodo temporale di utilizzo dei fanghi. Vengono altresì precisati i parametri che devono essere obbligatoriamente comunicati all'utilizzatore dei fanghi al fine di una corretta predisposizione dei piani di utilizzo agronomico;
- d.g.r. 11 settembre 2017, n. X/7076 “Disposizioni integrative, in materia di parametri e valori limite da considerare per i fanghi idonei all'utilizzo in agricoltura, alla dgr 2031/2014 recante disposizioni regionali per il trattamento e l'utilizzo, a beneficio dell'agricoltura, dei fanghi di depurazione delle acque reflue di impianti civili ed industriali in attuazione dell'art. 8, comma 8, della legge regionale 12 luglio 2007, n. 12”;
 - d.d.u.o. n. 6665 del 14 maggio 2019 “Ricognizione dei limiti di concentrazione caratterizzanti i fanghi di depurazione idonei per l'utilizzo in agricoltura, a seguito delle nuove disposizioni normative nazionali di cui alla legge 16 novembre 2018, n. 130 “conversione in legge, con modificazioni, del decreto-legge 28 settembre 2018, n. 109, recante disposizioni urgenti per la città di Genova, la sicurezza della rete nazionale delle infrastrutture e dei trasporti, gli eventi sismici del 2016 e 2017, il lavoro e le altre emergenze”. In questo documento Regione Lombardia differenzia due categorie di fanghi (tabella seguente): i “fanghi idonei”, nei quali le concentrazioni delle sostanze inquinanti devono essere contenute entro i limiti definiti dalla normativa nazionale, e “fanghi di alta qualità”, per i quali valgono concentrazioni inferiori delle sostanze inquinanti. Non sono però indicati utilizzi diversi;
 - D G R Lombardia n 1777 del 17 giugno 2019: Revisione della D G R 1° lu-

Tab. 3: Valori limite e concentrazioni caratterizzanti i fanghi di alta qualità ed i fanghi idonei avviati all'utilizzo in agricoltura (in sostituzione della Tabella A dell'Allegato 1 alla d.g.r. 7076/2017)
Fonte: d.d.u.o. n. 6665 (14 maggio 2019), Allegato 1, Tabella A

Parametro	u. d m.	Valori limite	
		Fango di alta qualità	Fango idoneo
Nonilfenolo dietossilato ²			
Idrocarburi (C10 – C40) ²	mg/kg ss	< 10.000	
Idrocarburi (C10 – C40) ³	mg/kg t.q.	≤ 1000	
Parametri microbiologici			
Salmonelle	MPN/g ss	< 100	
Coliformi fecali	MPN/g ss	< 10.000	
Parametri biologici			
Test di fitotossicità	Test di accrescimento o di germinazione. Per l'accrescimento si applica la metodologia di cui all'Allegato B della d.g.r. 16/04/2003 n. 7/12764. Indice di germinazione (diluizione al 30%) deve essere > 60%		

¹Non applicabile nel caso di utilizzo diretto in conto proprio dei fanghi.
²Parametri annullati dalla Sentenza TAR n. 1782/2018 rispetto alla quale Regione Lombardia ha presentato ricorso al Consiglio di Stato; dovranno essere rilevati solamente successivamente all'eventuale esito positivo di detto ricorso.
³ Il limite si intende comunque rispettato se la ricerca dei marker di cancerogenicità fornisce valori inferiori a quelli definiti ai sensi della nota L, contenuta nell'allegato VI del regolamento (CE) n. 1272/2008 del Parlamento europeo e del Consiglio, del 16 dicembre 2008, richiamata nella decisione 955/ 2014/UE della Commissione del 16 dicembre 2008, come specificato nel parere dell'Istituto superiore di sanità protocollo n. 36565 del 5 luglio 2006, e successive modificazioni e integrazioni.

glio 2014 n X/ 2031 relativamente ai fanghi ammissibili all'utilizzo in agricoltura. Conferma che, tra gli altri, i fanghi con codice EER 190805 (depurazione acque reflue urbane, solo da depurazione biologica) possono essere utilizzati per lo spandimento in agricoltura

Parametro		u. d m.	Valori limite	
			Fango di alta qualità	Fango idoneo
pH			5,5 < pH ≤ 11	
Sostanza secca (residuo secco a 105°C)		%		
Residuo secco a 600°C		%		
SSV/SST ¹		%	< 60	< 65
Metalli pesanti				
Cadmio		mg/kg ss	≤ 5	≤ 20
Cromo totale		mg/kg ss	≤ 150	< 200
Cromo VI		mg/kg ss	<2	
Mercurio		mg/kg ss	≤ 5	≤ 10
Nichel		mg/kg ss	≤ 50	≤ 300
Piombo		mg/kg ss	≤ 250	≤ 750
Rame		mg/kg ss	≤ 400	≤ 1000
Zinco		mg/kg ss	≤ 600	≤ 2500
Arsenico		mg/kg ss	≤ 10	<20
Selenio		mg/kg ss	≤ 10	
Berillio		mg/kg ss	≤ 2	
Parametri agronomici				
Carbonio organico		% ss	> 20	
Azoto totale		% ss	> 1,5	
Fosforo totale		% ss	> 0,4	
Potassio totale		% ss		
Grado di umificazione		DH%		
Inquinanti organici				
IPA	Acenaftene	mg/kg ss	Σ < 6	
	Fenantrene			
	Fluorene			
	Fluorantene			
	Pirene			
	Benzo[b]fluorantene			
	Benzo[j]fluorantene			
	Benzo[k]fluorantene			
	Benzo[a]pirene			
	Benzo[ghi]perilene			
	Indeno [1,2,3-c,d]pirene			
	Dibenzo (a,h) antracene			
	Benzo [a] antracene			
	Crisene			
	Benzo[e]pirene			
	Dibenzo[a,e]pirene			
	Dibenzo[a,l]pirene			
Dibenzo[a,i]pirene				
Dibenzo[a,h]pirene				
PCB		mg/kg ss	< 0,8	
PCDD/F + PCB Dioxine Like		ng WHO-TEQ/kg ss	≤ 25	
Toluene		mg/kg ss	≤ 100	
AOX Adsorbable Organ Halides	Lindano	mg/kg ss	Σ < 500	
	Endosulfan			
	Tricloroetilene			
	Tetracloroetilene			
	Clorobenzeni			
DEHP (Bis(2-etilesil)ftalato)		mg/kg ss	< 100	
Nonilfenolo ²		mg/kg ss	Σ < 50	
Nonilfenolo monoetossilato ²				

**GLI STRUMENTI E LE RISORSE PER LO
SVILUPPO DELL'ECONOMIA CIRCOLARE DELLA
DEPURAZIONE DELLE ACQUE**

All'interno del Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza (PNRR, 2021) le risorse economiche per la realizzazione di progetti di economia circolare che riguardano la depurazione delle acque e i fanghi (i rifiuti in genere) sono allocate nella Missione 2. In particolare nelle componenti :

- M2C4: TUTELA DEL TERRITORIO E DELLA RISORSA IDRICA
 - M2C4.4 GARANTIRE LA GESTIONE SOSTENIBILE DELLE RISORSE IDRICHE LUNGO L'INTERO CICLO E IL MIGLIORAMENTO DELLA QUALITÀ AMBIENTALE DELLE ACQUE INTERNE E MARITTIME
 - Investimento 4.4: Investimenti in fognatura e depurazione (0,60 mld €)
- M2C1: ECONOMIA CIRCOLARE E AGRICOLTURA SOSTENIBILE
 - M2C1.1 MIGLIORARE LA CAPACITÀ DI GESTIONE EFFICIENTE E SOSTENIBILE DEI RIFIUTI E IL PARADIGMA DELL'ECONOMIA CIRCOLARE (il 60% delle risorse saranno destinate a interventi da realizzarsi nelle regioni del centro e del sud Italia)
 - Investimento 1.1: Realizzazione nuovi impianti di gestione rifiuti e ammodernamento di impianti esistenti (1,50 MLD €)
 - Investimento 1.2: Progetti “faro” di economia circolare (0,60 mld €).

In merito alla componente M2C1.1 il ministero della Transizione Ecologica ha pubblicato l'avviso⁸ relativo alla Linea d'Intervento C – ammodernamento (anche con ampliamento di impianti esistenti) e realizzazione di nuovi impianti innovativi di trattamento/riciclaggio per lo smaltimento di materiali assorbenti ad uso personale (PAD), i fanghi di acque reflue, i rifiuti di pelletteria e i rifiuti tessili. Le proposte dovranno avere ad oggetto un Intervento, o un Intervento Integrato Complesso, in grado di concorrere al raggiungimento degli specifici obiettivi previsti dalla Misura, attraverso lo svolgimento di attività tra cui, a titolo esemplificativo e non esaustivo: a) Realizzazione di impianti di essiccazione dei fanghi provenienti da impianti di depurazione; b) Realizzazione di impianti di trattamento dei fanghi provenienti da impianti di depurazione mediante miscelazione di fanghi e rifiuto verde tramite compostaggio aerobico e maturazione compost; c) Realizzazione di impianti di trattamento dei fanghi provenienti da impianti di depurazione previa digestione anaerobica a umido, cattura del biogas e successiva estrazione del metano; d) Realizzazione di impianti innovativi di trattamento/riciclaggio per materiali assorbenti ad uso personale (PAD), rifiuti tessili e di pelletteria.

.....
8 www.mite.gov.it/pagina/linea-c-ammodernamento-e-realizzazione-di-nuovi-impianti-innovativi-di-trattamento

EMISSIONI DI GAS CLIMALTERANTI

Le emissioni di gas climalteranti associate ai fanghi sono relative al processo di trattamento, in particolare:

- le emissioni dirette derivano dal trattamento biologico del materiale organico presente nelle acque reflue e sono costituite prevalentemente da CH₄ (rilasciato in condizioni anaerobiche, per esempio in fase di ispessimento nelle trincee) ed N₂O (quest'ultimo associato alla rimozione dell'azoto, se il processo di nitrificazione/denitrificazione è incompleto). Si tratta comunque di inefficienze;
- le emissioni indirette (CO₂) derivano dall'uso di combustibili fossili per la produzione di energia elettrica e per l'essiccamento e il trasporto dei fanghi (e naturalmente le emissioni legate alla costruzione delle infrastrutture per il trattamento delle acque) (EEA, 2022).

Le modalità di spandimento dei fanghi non hanno effetto sulle emissioni climalteranti (lo hanno sulle emissioni di ammoniaca e di conseguenza sulle maleodorazioni). Le emissioni di CH₄ e N₂O sono eventualmente dovute alle interazioni del fango con il suolo, interazioni che non dipendono dal tipo di matrice organica, ma da come questa è stata trattata (grado di stabilizzazione) e dalla pratica agronomica (che incide sull'areazione del terreno). Infatti, se i nitrati presenti nella matrice sono solubili e immediatamente utilizzati dalle piante (matrice scarsamente stabilizzata), si trasformano in azoto molecolare (N₂), con conseguente perdita del valore fertilizzante (N₂ è infatti un gas inerte); in questo processo (detto di denitrificazione), se il terreno è scarsamente areato si possono formare composti intermedi (ossidi di azoto) che hanno potere climalterante (la formazione dei composti intermedi è dovuta al fatto che i batteri denitrificanti, non trovando sufficiente ossigeno per ossidare la sostanza organica di cui si nutrono, prendono come accettore finale di elettroni il nitrato che trovano nel terreno; per questa ragione in agricoltura si usano inibitori della denitrificazione).

Programmazione della gestione dei fanghi in Lombardia

Il documento principale per la gestione dei fanghi in Regione Lombardia è il Programma Regionale di Gestione dei Rifiuti (“Piano verso l’economia circolare”). In questo documento si stima una crescita in peso dei fanghi pari al 10% entro il 2027 rispetto alla produzione del 2018 e non si prevedono fabbisogni incrementali di trattamento rispetto ai valori attuali. La qualità dei fanghi prodotti (alta qualità, idonei, non idonei) è fondamentale per formulare programmi di gestione. Regione Lombardia, analizzando i dati di un campione di fanghi in uscita dai depuratori lombardi, ha rilevato che il 2,15% dei fanghi è di alta qualità, il 18,26% è idoneo, il 79,59% e non idoneo. La tabella seguente riporta il dettaglio dei fanghi per i depuratori analizzati (sono stati esclusi dall’analisi gli impianti e i fanghi attualmente inviati ad incenerimento).

Tab. 4: Fanghi prodotti da alcuni impianti di depurazione delle acque reflue urbane in Lombardia, di potenzialità di progetto maggiore di 30.000 AE, classificati ai fini della idoneità all'uso agricolo (tal quali, senza trattamenti). Sono esclusi gli impianti e i fanghi che già oggi inviano i fanghi a incenerimento.
Fonte: PRGR, 2022

Gestore del servizio idrico integrato (SII)	Impianti considerati (n)	Potenzialità di progetto degli impianti considerati (AE)	Massa di fanghi prodotti dagli impianti considerati (t/anno)			
			Alta qualità	Idonei	Non idonei	Totale
Cogeide (BG)	1	150.000	0	0	4.710,23	4710,23
Uniacque (BG)	11	1.237.000	3.762,28	1.548,28	9.730,73	27.339,16
AzA (BS)	1	250.000	0	0	12.086,07	12.086,07
Acque Bresciane (BS)	1	70.000	0	0	946,78	946,78
Comoacqua (CO)	2	451.000	0	0	14.351,03	14.351,03
Lariana Depur (CO)	2	120.000	0	0	4.305	4.305
Padania Acque (CR)	3	358.000	0	0	17.643,73	17.643,73
Lario Reti (LE)	6	290.000	0	0	13.068,09	13.068,09
SAL (LO)	2	70.000	0	2.837,15	1.034,57	3.871,72
Brianzacque (MB)	2	804.000	0	9.730,73	5.683,56	15.414,29
CAP (MB)	13	2.401.000	0	21.651,66	24.856,22	46.507,88
MM (MI)	2	2.750.000	0	0	58.091,00	58.091
TEA (MN)	2	170.000	0	0	3.861,08	3.861,08
Pavia Acque (PV)	4	356.000	1.661,02	4.482,52	1.966,63	8.110,17
Secam (SO)	5	182.000	0	1.838,52	8.425,07	10.263,71
Alfa (VA)	4	827.000	0	3.993,06	7.746,30	11.739,36
TOTALE	61	10.486.000	5.423,30	46.082,04	188.506	252.309,30
% nel campione considerato			2,15%	18,26%	79,59%	100%

MALEODORAZIONI

Un problema rilevante dello spandimento dei fanghi di depurazione è costituito dalle molestie olfattive, particolarmente rilevanti nel caso di matrici scarsamente stabilizzate, nelle quali la degradazione della sostanza organica presente comporta emissione di composti maleodoranti (acidi grassi volatili, indolo, scatolo, metil- e dimetil-ammine, mercaptani, solfuro di idrogeno e simili) oltre che ammoniaca, metano e protossido di azoto. Il problema si presenta anche per l’applicazione dei gessi da defecazione. Per limitare le emissioni odorigene è importante definire indici adatti per la valutazione della stabilità dei fanghi, poiché il solo rapporto tra solidi volatili e solidi totali non è sufficiente. Bisogna inoltre rispettare le buone pratiche di applicazione e le distanze dalle abitazioni (Regione Lombardia le ha dettagliate nella d.g.r. 6 giugno 2016 n. X/5269). In particolare, per contenere le emissioni di ammoniaca, il PRGR lombardo indica di considerare le “esigenze nutritive delle colture, il tenore dei nutrienti del suolo e l’apporto di nutrienti degli altri fertilizzanti; inoltre l’utilizzo di tecniche di agricoltura di precisione, che possano assicurare una migliore distribuzione del fertilizzante e, di conseguenza, una migliore efficienza d’uso dell’azoto” (PRGR, 2022).

La principale causa di non idoneità è imputabile al rapporto SV/ST, a testimonianza del fatto che molti impianti di depurazione nella linea fanghi non hanno trattamenti in grado di raggiungere un sufficiente grado di stabilizzazione del fango. In minor misura, la non idoneità è imputabile agli idrocarburi C12-C40 e ad uno o più dei metalli pesanti elencati nella normativa regionale. Il PRGR assume che, per i fanghi in uscita dai depuratori, i trattamenti di igienizzazione e stabilizzazione presso impianti dedicati ristabiliscano i limiti di legge per il parametro SV/ST e aumentino quindi le percentuali dei fanghi di alta qualità e di quelli idonei rispettivamente al 37,90% e 42,40%, riducendo i fanghi non idonei ad una percentuale del 19,70%. Di questi, il 75% supera il limite per gli idrocarburi e il 25% i limiti per i metalli pesanti (in particolare per Cr, As e Zn). In relazione alla presenza dei metalli pesanti nei fanghi (limiti sono superati anche dai fanghi inviati ad incenerimento), il PRGR ricorda che negli ultimi anni si è verificata una leggera graduale diminuzione dovuta principalmente al settore produttivo (riduzione della presenza delle lavorazioni inquinanti, prevenzione dell'utilizzo di componenti tossici nei processi produttivi, presenza di processi di recupero dei metalli interni alle aziende del trattamento superficiale dei metalli, prevenzione degli scarichi abusivi); ma i metalli pesanti derivano anche nelle acque di dilavamento delle superfici stradali (in particolare Zn e Pb, residui dell'usura di freni e pneumatici) e da fonti domestiche (i prodotti per la pulizia possono contenere Cr).

Lo spandimento dei fanghi in Lombardia

In base alla Direttiva Nitrati, il D.G.R. 1° luglio 2014 - n. X/2031 precisa che è vietato spandere fanghi su terreni in cui il carico di azoto zootecnico (effluenti di allevamento) supera:

- 170 kg/ha/anno nelle ZVN (Zone Vulnerabili ai Nitrati; non in tutte le ZVN c'è divieto di spandimento);
- 340 kg/ha/anno nelle ZNVN (Zone Non Vulnerabili ai Nitrati).

Ogni anno Regione Lombardia identifica i Comuni dove è vietato l'impiego per uso agronomico dei fanghi di depurazione (per la campagna 2022/23, Decreto n° 15709 del 03/11/2022), specificando che l'impiego non è mai consentito su terreni che ricevono effluenti di allevamento(fig. 3).

Come si vede dalla mappa in figura 4 le zone di spandimento dei fanghi sono infatti concentrate prevalentemente nella bassa pianura occidentale dove la concentrazione di allevamenti è molto bassa.

La mappa in figura 6 mostra il carico di azoto da distribuzione di fanghi (kg/ha SAU) in Lombardia nel 2017. Il carico complessivo di azoto derivante dall'utilizzo in agricoltura dei fanghi di depurazione è stimabile pari a 4.221,2 tonnellate di N distribuite su comuni che hanno una SAU complessiva di circa 313.061 ha (Soil4life, 2019)

Regione Lombardia ha predisposto la carta dell'attitudine dei suoli alla distribuzione dei fanghi (fig. 5) elaborata a partire dalla Carta dei suoli in scala 1:50.000 della pianura e prima collina lombarda. La carta fornisce una valutazione qualitativa sull'attitudine dei suoli a trattenere le sostanze

Fig. 3 Idoneità dei comuni all'utilizzo agronomico dei fanghi di depurazione (2022)
Fonte: CARICO DI AZOTO ZOOTEKNICO – Anno 2022. Relazione Tecnica rif. punto 6.2 lettera d) Allegato 1 D.G.R. 1° luglio 2014 – n. X/2031¹

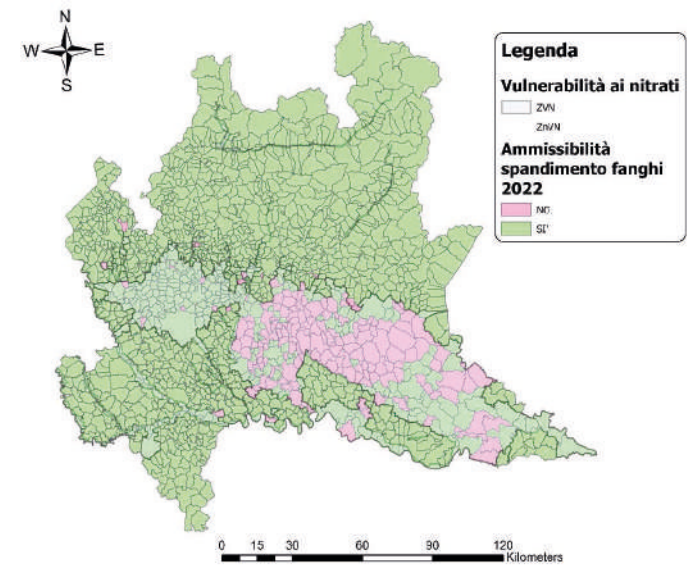
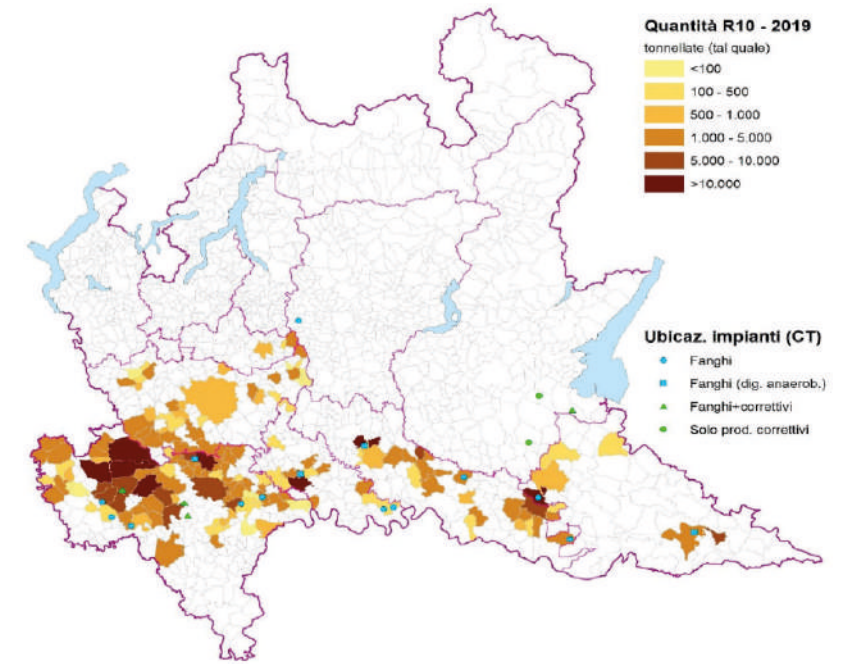


Fig. 4 Quantitativi di fanghi recuperato in agricoltura (R10) dagli impianti “conto terzi” nel 2019.
Fonte: (ARPA Lombardia, 2022)



.....
1 www.regione.lombardia.it/wps/wcm/connect/1a54a7ba-1ed1-4994-8ff6-a35b-3b8cba64/Carico+di+azoto+zootecnico++anno+2022.pdf?MOD=AJPERES&CACHEID=RO-OTWORKSPACE-1a54a7ba-1ed1-4994-8ff6-a35b3b8cba64-ohhsQSD

apportate dai fanghi, preservando così la qualità delle acque e della catena trofica. Le classi indicate vanno dalla S1 - nessuna limitazione all'utilizzo dei fanghi - fino alla classe N - limitazioni consistenti). La carta non prende in considerazione il contenuto in metalli dei suoli stessi (Soil4life, 2019). Dal confronto con la carta del carico di azoto da fanghi si evince che la distribuzione dei fanghi si concentra in territorio relativamente meno vocato.

Nel PRGR si quantifica in circa 125.000 ettari l'area di pianura idonea (cioè priva di vincoli sia naturali - dovuti alle caratteristiche dei suoli - sia normativi) allo spandimento dei fanghi di depurazione, affermando che questa superficie, anche se probabilmente stimata per eccesso, copre ampiamente la produzione di fanghi della Regione Lombardia. Le province dove tali superfici sono più estese sono Pavia (48.000 ha), Milano (la zona sud, 19.500 ha), Cremona e Mantova (13-14.000 ha ciascuna) e Lodi (10.000 ha). In particolare nelle province del nord-ovest (Varese, Como, Monza e Lecco) le superfici potenzialmente idonee sono poche, di piccola dimensione e frammentate.

Il PRGR trae le seguenti conclusioni (per tutti i fanghi, non solo quelli civili):

- la limitazione allo spandimento dei fanghi non dipende dalla disponibilità di aree, ma dalle caratteristiche dei fanghi stessi, in particolare dalla stabilità biologica e ovviamente dal contenuto di sostanze inquinanti;
- è pertanto necessario adoperarsi per aumentare le percentuali di fango di alta qualità e di fango idoneo all'utilizzo agronomico, cercando di aumentarne il grado di stabilizzazione principalmente per eliminare i disagi prodotti dalle maleodorazioni;
- i trattamenti termici sono riservati ai fanghi non idonei: la prima opzione per quelli ricchi di fosforo è il mono-incenerimento, con stoccaggi temporanei delle ceneri (con tempo di turn-over dell'ordine di qualche anno), destinati a costituire riserve di minerali fosfatici; per quelli poveri di fosforo (indicativamente con un contenuto di fosforo < 50 gP/kg ceneri) il co-incenerimento con recupero di energia. Altri trattamenti termici, al momento poco diffusi, come la pirolisi e la carbonizzazione idrotermica (HTC) non vengono esclusi, ma si sottolinea che essendo più costosi sono giustificati solo se i prodotti ottenuti (syngas e char) hanno un mercato di sbocco diverso dalla combustione.
- il conferimento in discarica (dei fanghi civili) può essere vietato, data la presenza delle alternative elencate.

Fig. 5 Carta dell'attitudine dei suoli della pianura lombarda alla distribuzione dei fanghi (scala 1:50.000).

Fonte: Soil4life, 2019

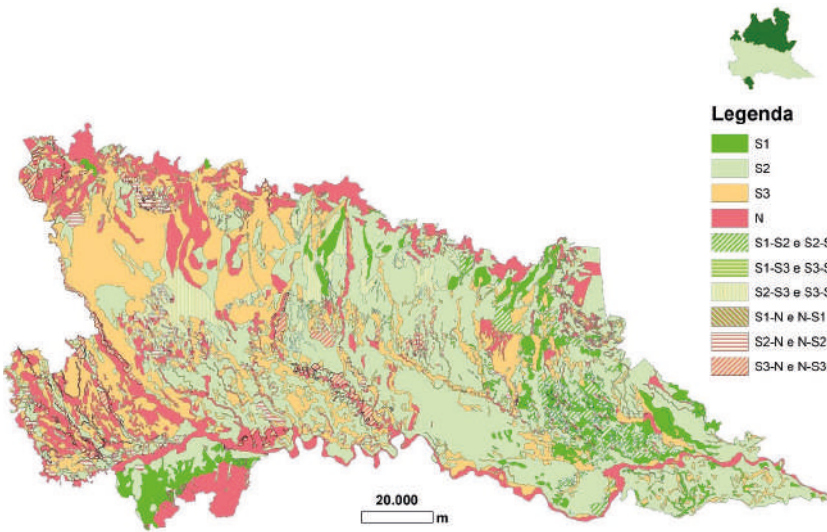
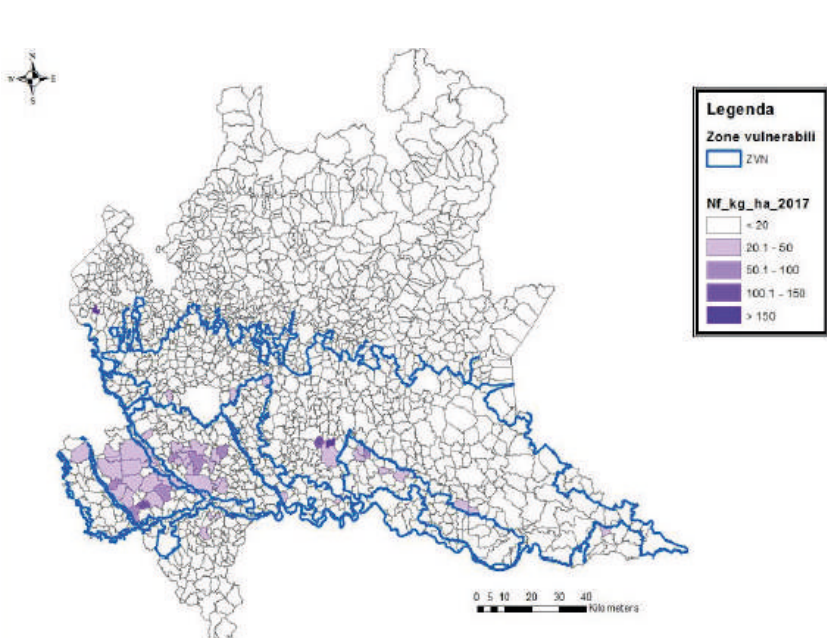


Fig. 6 Carico di azoto da distribuzione di fanghi, espresso in kg per ha di SAU (Dati ARPA 2017).

Fonte: Soil4life, 2019



MICROPLASTICHE NEL SUOLO

Il tema della presenza di plastica nel suolo è decisamente sottovalutato, almeno nel dibattito pubblico, che si concentra prevalentemente sulla presenza di plastica negli oceani. Occorre però ricordare che i livelli di contaminazione da microplastiche¹ nel suolo sono da 4 a 23 volte più alti che negli oceani e i soli suoli agricoli potrebbero contenere più plastiche degli oceani. Le principali fonti di microplastiche nei suoli agricoli sono: l'applicazione in agricoltura di fanghi di depurazione derivanti dal trattamento di acque urbane e usati poi come fertilizzanti; i fertilizzanti a rilascio controllato, una tecnica che se da un lato consente di modulare la quantità di fertilizzanti nel suolo, dall'altra immette microplastiche in quanto i nutrienti necessari alle piante (N, K, e P) sono contenuti in pillole fatte di polimeri; le plastiche usate in agricoltura per la produzione di tunnel, imballaggi per insilati, teli per la pacciamatura, contenitori, reti: l'esposizione ai raggi solari facilita la frammentazione delle plastiche e il vento può a sua volta provocare la dispersione delle microplastiche sui suoli e sul terreno; l'uso in agricoltura di fertilizzanti derivanti dalla raccolta di rifiuti organici sia domestici sia industriali (ESTà, 2020).

Recenti studi svedesi mostrano che circa il 40-60% delle microplastiche presenti nelle acque reflue in ingresso sono state successivamente ritrovate nei fanghi digeriti anaerobicamente, mentre il resto è stato rimosso o si è disintegrato/degradato durante il trattamento. D'altro canto, uno studio del 2020 indica che i fanghi utilizzati come fertilizzante per 35 anni non sembrano aver causato un'elevata concentrazione di microplastiche nel suolo (EEA, 2022). Le microplastiche potrebbero comparire nell'intervallo 0,03-0,1% su ss e alcuni risultati preliminari mostrano che la differenza di concentrazione di microplastiche tra fanghi di depurazione trattati e non trattati non è molto grande (EurEau, 2021).

.....
1 Piccole particelle di materiale plastico generalmente di dimensione inferiore a 5 mm. Le microplastiche primarie sono direttamente rilasciate nell'ambiente (ovvero intenzionalmente prodotte in piccole dimensioni), quelle secondarie si originano invece dalla frammentazione di rifiuti mesoplastici (compresi tra 0,5 mm e 200 mm) e macroplastici (> 200 mm) causata dell'azione di degrado degli agenti atmosferici, principalmente vento e sole.

APPROFONDIMENTO.1

BIOECONOMIA CIRCOLARE: UN INQUADRAMENTO TEORICO

Alessia Toldo

La prospettiva emergente della *circular bioeconomy*, o bioeconomia circolare, ormai presente tanto nel dibattito accademico-scientifico, quanto in quello pubblico nazionale e internazionale, viene generalmente intesa come l'intersezione fra i due concetti che la compongono – bioeconomia ed economia circolare – in grado di metterne a sistema i punti di forza e, contestualmente, superarne i limiti. In questa logica, l'esistenza della bioeconomia circolare sembra avere senso solo se le singole componenti si completano a vicenda, svolgendo ciascuna un ruolo abilitante nei confronti dell'altra. Tuttavia, il loro rapporto è complesso e oggetto di un dibattito tuttora aperto, e la sfida per gli stakeholder coinvolti nei discorsi, nelle pratiche e nelle politiche di bioeconomia circolare è anche e soprattutto legata all'assenza di una definizione univoca che vada al di là di quelle dei singoli termini. Anche perché, a complicare definitivamente il quadro, non c'è consenso nemmeno su cosa si intenda per bioeconomia da un lato, ed economia circolare dall'altro.

Per questa ragione, l'obiettivo della prima parte del rapporto consiste nel presentare e mettere a fuoco sinteticamente il tema (in termini definitivi, di governance e di performance) a partire dai singoli concetti.

LE DEFINIZIONI

Partiamo da una certezza: la questione che fa da sfondo allo sviluppo di queste nuove prospettive è la necessità di un'alternativa al modello di produzione e consumo cosiddetto lineare (take, make, waste), basato sulla crescita continua in termini di sfruttamento delle risorse naturali, domanda di energia, produzione di scarti e utilizzo del territorio. La linearità ha infatti

da tempo rivelato non solo la propria incapacità nel rispondere alle sfide di un mondo che richiede, contemporaneamente, crescita economica, protezione ambientale e benessere delle persone, ma il suo essere causa stessa del problema. Per questa ragione, il messaggio culturale dell'economia circolare e della bioeconomia – al di là della loro operativizzazione – è molto potente, perché sottende l'idea di un'economia rigenerativa capace di disaccoppiare la crescita dal consumo di risorse, e di affrontare sfide globali come il cambiamento climatico, la perdita di biodiversità, la gestione dei rifiuti e l'inquinamento.

Tuttavia, come anticipato, entrambi i concetti – economia circolare e bioeconomia – presentano un ampio grado di indefinitezza, resa evidente, in prima battuta, dall'esistenza di tantissime definizioni che si rincorrono, in parte sovrapponendosi, ma mai del tutto. Si tratta di un problema tutt'altro che irrilevante, perché nozioni dai confini così mobili rischiano di rimanere intrappolate in una contesa concettuale non solo nel dibattito teorico, ma anche e soprattutto nell'attuazione pratica. In altri termini, il modo in cui un'organizzazione implementa i quadri dell'economia circolare e della bioeconomia (ancora prima della bioeconomia circolare) dipende fortemente dalle interpretazioni dei diversi decisori e stakeholder. Per questa ragione, molti studiosi ritengono questi due concetti non solo (Kirchherr et al. 2017), ma anche scientificamente deboli (Winans et al. 2017), al punto che il loro contributo concreto alle sfide della sostenibilità sembra essere ancora ampiamente in discussione (D'Amato et al., 2017; Kröger e Raitio, 2017).

ECONOMIA CIRCOLARE

Il discorso appena fatto vale soprattutto per l'economia circolare, sebbene sia oggetto di un dibattito decisamente maturo che affonda le sue radici in cinque decenni di discorsi sull'ecologia industriale e il metabolismo. Alcuni studiosi propongono l'articolazione dei numerosi tentativi definitivi in due gruppi. Il primo aggrega le concettualizzazioni che seguono il pensiero della Ellen MacArthur Foundation (EMAF), secondo cui l'economia circolare è un sistema industriale rigenerativo per intenzione e progettazione, che sostituisce il concetto di 'fine vita' con quello di recupero; si orienta verso l'uso di energie rinnovabili; non utilizza sostanze chimiche tossiche (perché non possono essere riutilizzate); e, infine, punta all'eliminazione dei rifiuti attraverso la

progettazione di materiali, prodotti, sistemi e di nuovi modelli di business. Seminariale, in questo senso, la schematizzazione dei due cicli fondamentali connessi alla circolarità nel ben noto diagramma a farfalla (cfr. figura 1). Nel primo ciclo, quello tecnico, i prodotti vengono riutilizzati, riparati, rigenerati e riciclati. Nel secondo, quello biologico, i materiali biodegradabili vengono restituiti alla biosfera attraverso processi come il compostaggio e la digestione anaerobica.

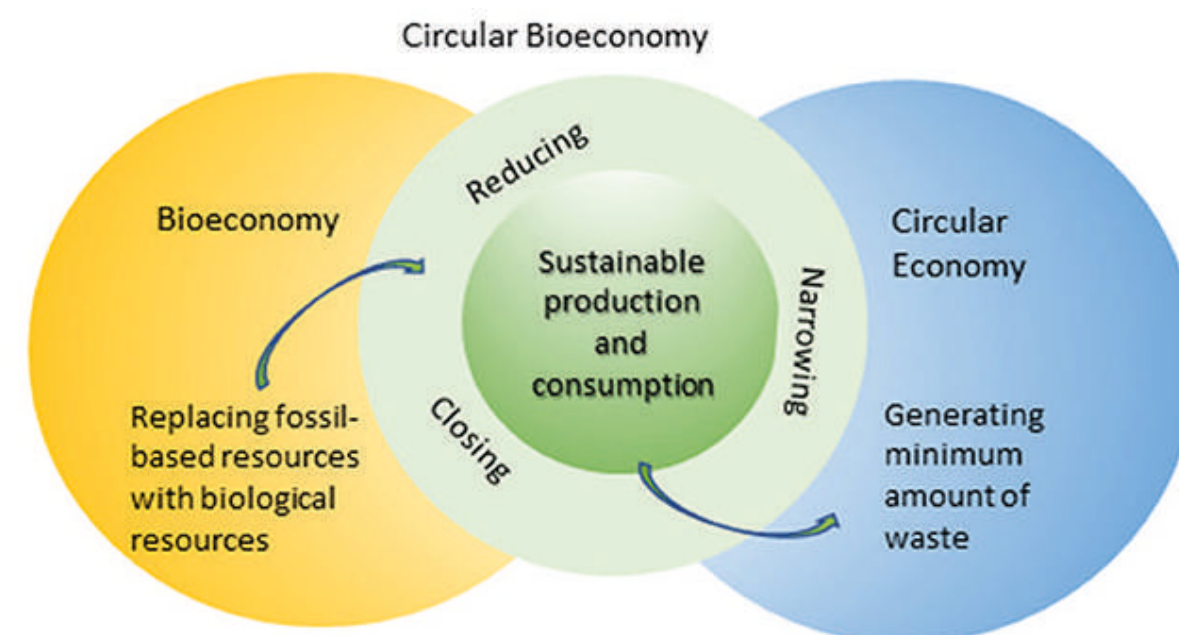
Il secondo gruppo raccoglie invece le definizioni sviluppate da altri ricercatori, in maniera indipendente dall'EMAF. Per rendere l'idea, in uno degli articoli più citati sull'economia circolare, Kirchherr et al. (2017) analizzano oltre un centinaio di definizioni, proponendo infine una versione che cerca di mettere a sintesi la pluralità degli aspetti sottesi, in cui l'economia circolare è intesa come un sistema economico che sostituisce il concetto di fine vita con la riduzione, il riutilizzo alternativo, il riciclo e il recupero dei materiali nei processi di produzione/distribuzione e consumo (il modello delle R, che vanno da 3 a 10 - cfr figura 3 - e, in alcuni casi arrivano fino a 38!); che opera a livello micro (prodotti, aziende, consumatori), meso (parchi eco-industriali) e macro (città, regione, nazione e oltre), con l'obiettivo di realizzare uno sviluppo sostenibile,

creando contemporaneamente qualità ambientale, prosperità economica ed equità sociale, a vantaggio delle generazioni attuali e future attraverso nuovi modelli di business e consumatori responsabili.

A queste, occorre affiancare le concettualizzazioni della comunicazione pubblica, a tutti i livelli. Per esempio, nell'Action Plan sull'economia circolare della Commissione Europea (2020), si legge come la circolarità rappresenti un elemento essenziale di una trasformazione più ampia dell'industria verso la neutralità climatica e la competitività a lungo termine, che può determinare notevoli risparmi di materia in tutte le catene di valore e nei processi di produzione, generando valore aggiunto e sbloccando opportunità economiche.

Al di là delle differenze, le molte definizioni esistenti - elaborate da istituzioni, università, centri di ricerca, aziende e practitioners - concordano sul fatto che l'economia circolare rappresenti un paradigma teso a ridurre il prelievo di risorse naturali, massimizzandone l'efficienza dell'utilizzo in una duplice dimensione. A monte, si tratta di aumentare la produttività nei

Fig. 1 – Bioeconomia circolare come intersezione fra bioeconomia e economia circolare
Fonte: Tan e Lamers, 2021, pag. 3



1 In ordine alfabetico, in inglese: re-assembly, re-capture, reconditioning, recollect, recover, recreate, rectify, recycle, redesign, redistribute, reduce, re-envision, refit, refurbish, refuse, remarket, re-manufacture, renovate, repair, replacement, reprocess, reproduce, repurpose, resale, resell, re-service, restoration, resynthesize, rethink, retrieve, retrofit, retrograde, return, reuse, reutilise, revenue, reverse and revitalize.

processi di produzione e consumo, riducendo gli sprechi e mantenendo il più possibile il valore dei prodotti e dei materiali. A valle, occorre evitare che tutto ciò che ancora intrinsecamente possiede una residua utilità venga smaltito in discarica e sia invece recuperato e reintrodotta nel sistema economico. Questi due aspetti costituiscono il cuore dell'economia circolare che mira - essenzialmente attraverso l'innovazione tecnologica e una migliore gestione dei processi - a rendere le attività economiche più efficienti e meno impattanti per l'ambiente. Il risultato auspicato della transizione verso la circolarità è quindi il superamento dell'attuale modello di produzione e consumo, disaccoppiando crescita economica e pressione ambientale, rallentando, restringendo e chiudendo i cicli delle risorse materiali - che devono basarsi il più possibile su energia rinnovabile e materiali non tossici.

A fronte di queste ambiziose intenzioni, la letteratura ci aiuta a individuare limiti e criticità: oltre alla già discussa vaghezza definitoria, alcuni studiosi hanno sostenuto come i guadagni di efficienza generati dall'economia circolare possano condurre a effetti di rebound in termini di aumento della produzione e del consumo, capaci di inficiare i benefici ambientali netti prodotti (Korhonen e Seager, 2008). Inoltre, molti autori sottolineano anche come all'enfasi sulla prosperità economica e la qualità ambientale, l'economia circolare non affianchi e affronti in maniera opportuna gli aspetti sociali della sostenibilità, come la giustizia o il benessere umano. Le questioni sociali vengono sovente declinate in termini di aumento dei posti di lavoro a elevato contenuto e competenze, in una visione che interpreta il lavoro umano come risorsa circolare, soprattutto quando coinvolge persone espulse dal mondo del lavoro. Tuttavia, anche in questo caso, esistono visioni critiche.

BIOECONOMIA

In maniera analoga all'economia circolare, anche la bioeconomia rappresenta un campo emergente le cui definizioni e interpretazioni tendono a essere piuttosto vaghe e talvolta contraddittorie (Paterman e Aguilar, 2018; Giampietro, 2019). In termini più generali, con bioeconomia si intende quel settore socio-economico che comprende la produzione sostenibile di risorse

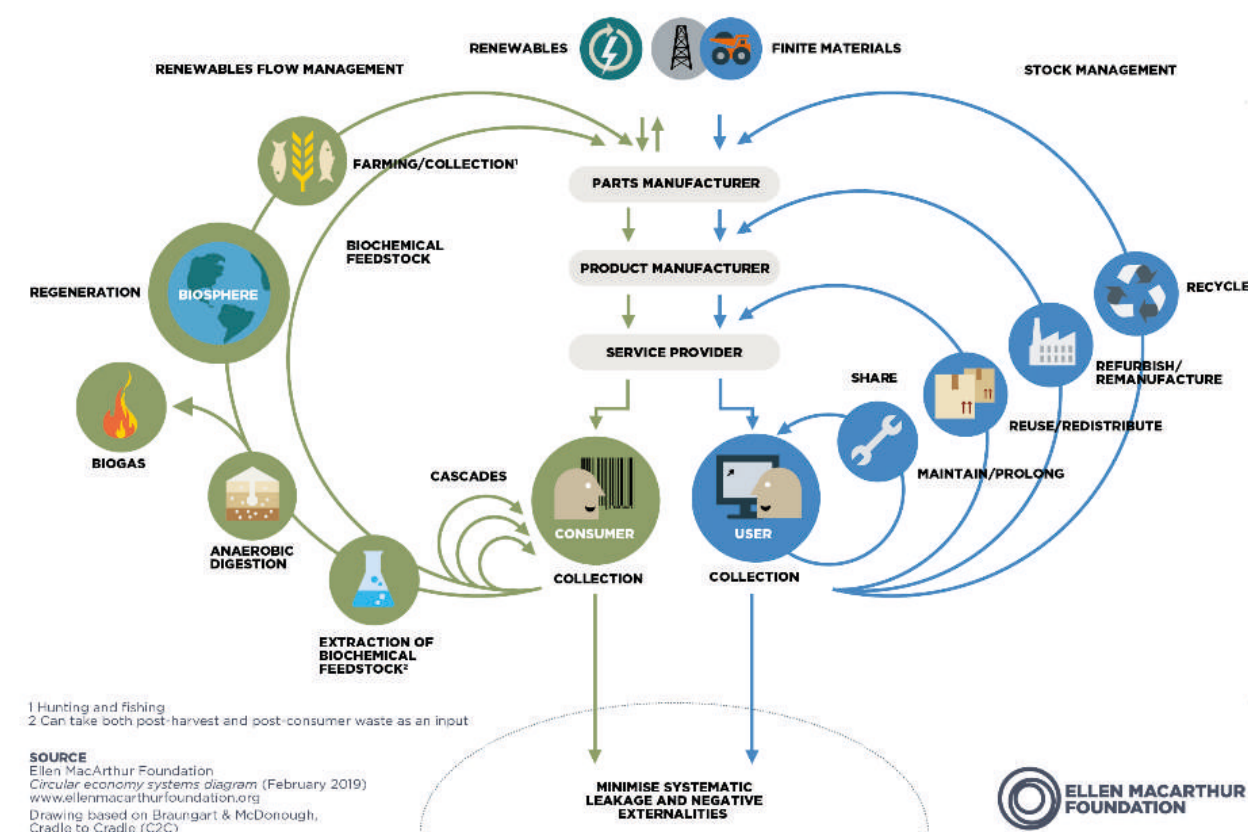
biologiche rinnovabili del suolo e del mare (animali, piante, microrganismi e biomasse derivate, compresi i rifiuti organici), le loro funzioni e i loro principi e la loro conversione - compresi i flussi di rifiuti e scarti - in prodotti industriali a valore aggiunto, come alimenti, mangimi, prodotti a base biologica, bioenergia e servizi. Della bioeconomia, secondo la strategia europea a essa dedicata, fanno quindi parte i vari comparti della produzione primaria - agricoltura, foreste, pesca e acquacoltura - e i settori industriali che utilizzano o trasformano le bio-risorse, come l'industria alimentare, della cellulosa e della carta, del tessile, insieme a una parte dell'industria chimica, dell'energia e della biotecnologia. A questo elenco, per esempio, l'EMAF aggiunge la vendita al dettaglio e la gestione delle risorse nelle fasi di consumo e di utilizzo finale.

L'idea più recente di bioeconomia promuove la transizione dagli input industriali a base fossile a quelli a base di biomassa, enfatizzando l'uso sostenibile delle risorse rinnovabili (Kleinschmit et al., 2014; Korhonen et al. 2018; Pfau et al., 2014; Priefer et al., 2017; Pölzl et al., 2014). In ragione del suo presunto potenziale economico, sociale e ambientale, l'idea di una bioeconomia basata sulla conoscenza ha scalato le gerarchie degli obiettivi di sviluppo di diversi paesi (Stati Uniti, Giappone, India, Brasile, Germania,...) posizionandosi al primo posto nelle agende politiche, sovente accompagnata da documenti ufficiali per la costruzione di divisioni operative a lungo termine e coerenti. Tuttavia, in ogni contesto viene spesso declinata diversamente, per esempio, nei Paesi anglosassoni il focus riguarda prevalentemente l'innovazione tecnologica con riferimento ai settori della biologia sintetica, della digitalizzazione e della produzione avanzata.

Diversamente, invece, nel contesto comunitario il concetto di bioeconomia viene ormai associato, fin dai tempi delle sue prime elaborazioni², allo sviluppo sostenibile, al punto che in quasi tutti i documenti di indirizzo politico dal 2012 in poi - anno della pubblicazione, da parte della Commissione Europea, della prima nella Strategia per la Bioeconomia in Europa³ - si usa l'espressione "bioeconomia sostenibile", con particolare riferimento al processo di decarbonizzazione e ai cinque obiettivi da raggiungere: (i) sicurezza alimentare, (ii) sostenibilità delle risorse naturali, (iii) riduzione della dipendenza da risorse

Fig. 2 - I cicli dell'economia circolare

Fonte: ellenmacarthurfoundation.org/circulate-products-and-materials



non rinnovabili, (iv) attenuazione e adattamento ai cambiamenti climatici e (v) creazione di posti di lavoro e accrescimento della competitività europea.

Tuttavia, la stessa natura sostenibile della bioeconomia è oggetto di un dibattito ancora aperto. Alcune definizioni suggeriscono come la bioeconomia non possa essere considerata intrinsecamente sostenibile solo perché basata su risorse rinnovabili (Pfau et al., 2014; Gawel et al., 2019). In questo senso, tanto la bioeconomia quanto l'economia circolare sono descritte da alcuni come concetti orientati alle risorse che ancora non affrontano correttamente le sinergie e i conflitti con i processi ecologici più ampi e i servizi ecosistemici (D'Amato et al., 2017). Ad esempio, le strategie guidate dalla bioeconomia volte a intensificare la raccolta di biomassa (in relazione, per esempio, all'aumento di domanda di biocarburanti) possono entrare in conflitto con molteplici altre funzioni sociali, economiche e ambientali (Eyvindson et al., 2018) generando maggiori emissioni di gas serra, competizione nell'uso dei suoli, fenomeni di deforestazione, land grabbing, sottrazione

di spazio alla produzione alimentare. Inoltre, le critiche alla bioeconomia sottolineano anche la sua incapacità di produrre benefici ambientali solo attraverso la sostituzione delle risorse di origine fossile con quelle di origine biologica, se queste ultime non sono gestite in modo sostenibile (Mustalahti, 2018; Pfau et al., 2014): gran parte della produzione della biomassa è ancora basata su energie non rinnovabili e materie prime fossili, come fertilizzanti azotati, prodotti chimici e polimeri derivati prevalentemente da petrolio e gas.

BIOECONOMIA CIRCOLARE

Fatte queste premesse, appare chiaro come nella prospettiva della bioeconomia circolare tendano a sommarsi, e a combinarsi, le criticità dei due concetti che la compongono. In primo luogo, l'indeterminatezza definitoria resta e si complica. Per la Commissione Europea, la bioeconomia è intrinsecamente circolare ed è il quadro di riferimento per ridurre la dipendenza dalle risorse naturali, trasformare l'industria manifatturiera,

2 2004 (con la preparazione del VII Programma Quadro della Ricerca)

3 CE, Innovating for Sustainable Growth: A Bioeconomy for Europe

promuovere la produzione sostenibile di risorse rinnovabili dalla terra, dalla pesca e dall'acquacoltura e promuovere la loro conversione in vari prodotti bio-based e bioenergia, incrementando al contempo nuovi posti di lavoro (Commissione Europea, 2012). Posizione sostenuta anche da alcuni studiosi, (Leipold e Petit-Boix, 2018) a partire dal fatto che essa opera sulla base del carattere rinnovabile e circolare degli ecosistemi planetari. In questa logica, la bioeconomia circolare è semplicemente interpretata come una gestione più efficiente delle risorse rinnovabili bio-based, attraverso l'integrazione dei principi dell'economia circolare nella bioeconomia o, ancora, la bioeconomia circolare corrisponderebbe tout court alla matrice organica dell'economia circolare. Per esempio, il rapporto EMAF sui bio-cicli urbani (2017) esplora le potenzialità di incorporare la circolarità nella bioeconomia che coinvolge i rifiuti organici dei contesti urbani, catturando il valore, sotto forma di energia, nutrienti e materiali incorporato in questi flussi. In questo discorso è sottesa l'idea di trasformare un problema (in termini economici e ambientali) come la frazione organica dei flussi di rifiuti solidi e urbani e dalle acque reflue, in una fonte di valore. Interessante anche il focus sulla città come dimensione territoriale strategica per l'applicazione di azioni di bioeconomia circolare (presente anche nei discorsi sull'economia circolare).

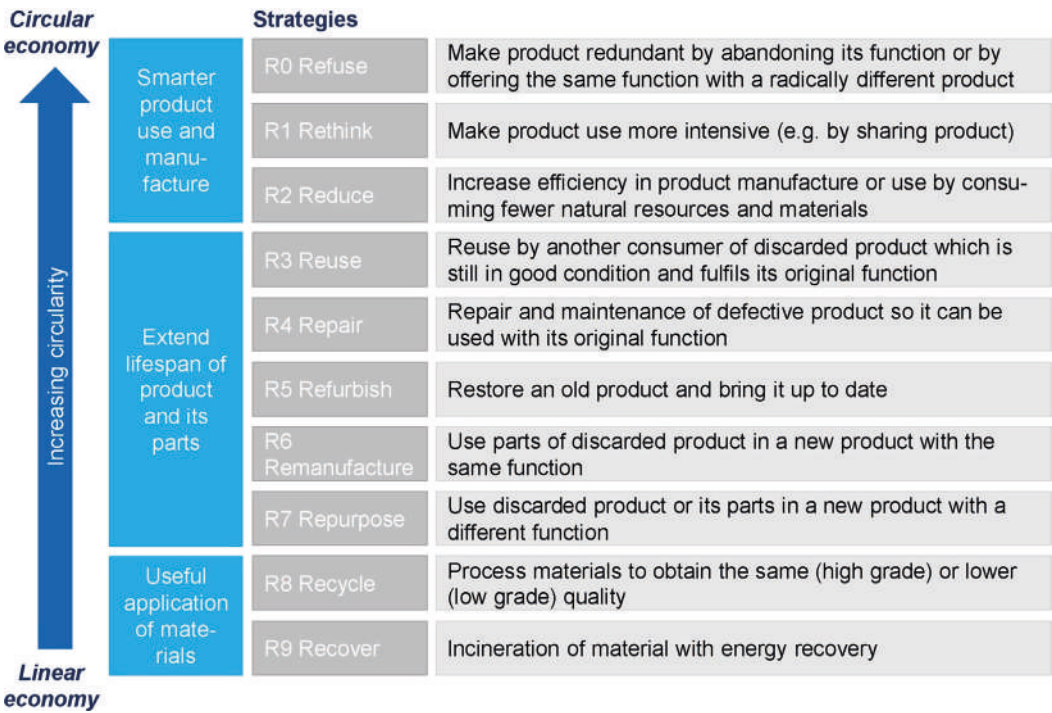
Al contrario, per diversi studiosi, la bioeconomia circolare non consiste semplicemente nell'adozione della circolarità applicata alle risorse organiche, come il cascading della biomassa (cioè la destinazione di materiali a usi e valori differenti dopo la fine del ciclo di vita), la gerarchia dei rifiuti e l'efficienza nell'utilizzo della biomassa o delle risorse rinnovabili (cioè l'estrazione dei massimi benefici pratici dai prodotti e la generazione di una quantità minima di rifiuti) (Bezama, 2016; Ciccamese et al., 2014; Vis et al., 2016). In questi casi, la bioeconomia circolare è descritta come qualcosa in "più della bioeconomia o dell'economia circolare da sole" (Hetemäki et al., 2017, p. 14). Anche se, su questo supposto surplus, non sembra esserci ancora abbastanza chiarezza.

Stahel (2019) per esempio, esclude dai discorsi della circolarità alcuni beni tradizionalmente ricompresi nella bioeconomia, in particolare quelli destinati al consumo che non possono essere riutilizzati, come il cibo: chiudere il cerchio trasformando gli scarti alimentari in biogas o redistribuendo le eccedenze sono infatti intesi come azioni a cascata del processo lineare,

con l'obiettivo di prevenire gli sprechi (che, in questo caso, è considerato l'unico modo di mantenere il valore della risorsa alimentare).

In sintesi, l'ampio, vivace e sovente contraddittorio dibattito sul rapporto tra economia circolare e bioeconomia può essere ricondotto a una delle cinque seguenti relazioni: (1) economia circolare e bioeconomia come concetti separati ma che si rafforzano a vicenda (2) concetti completamente integrati, (3) concetti parzialmente antagonisti (4) bioeconomia come preconditione dell'economia circolare o (5) economia circolare come strumento per passare da un'economia fossile a una bioeconomia (Leipold e Petit-Boix, 2018).

Fig. 3 – Le 10 ERRE dell'economia circolare
Fonte: Kirchherr et al. (2017)



APPROFONDIMENTO.2

IL SUOLO: COMPONENTE ESSENZIALE DEGLI ECOSISTEMI TERRESTRI

Il suolo riveste un ruolo nodale per il sostentamento della vita sulla Terra. La quasi totalità del cibo a disposizione degli esseri umani, fatta eccezione di quello derivante dagli ambienti marini, è frutto della coltivazione dei suoli che si estendono sul nostro pianeta. Altre funzioni facilmente riconducibili al suolo sono: la fornitura di prodotti non eduli utili all'uomo, quali la cellulosa per la carta ed importanti fibre per il settore tessile, la produzione di legna per costruzioni e da ardere e – non ultimo – il sostegno fisico per le fondazioni di edifici e strade. D'altra parte, funzioni meno ovvie che i suoli svolgono sono: la capacità di attenuare fenomeni di inquinamento e di immagazzinare l'acqua in eccesso derivante dalle precipitazioni meteoriche, il ruolo nei meccanismi di ricarica delle acque di falda, la partecipazione a tappe importanti dei cicli biogeochimici dei nutrienti e degli elementi in generale e quella di rappresentare l'habitat per una vasta gamma di microrganismi e di organismi sia vegetali che animali. I suoli sono inoltre coinvolti in impieghi per così dire secondari ma di sicura rilevanza economica come fonte di ingredienti o additivi per specifiche preparazioni alimentari ovvero per la produzione di insetticidi, di inchiostri, di vernici, di cosmetici e di medicinali. In particolare, le argille trovano impieghi che spaziano dall'uso come fanghi di perforazione nelle trivellazioni, al settore dei laterizi e della ceramica, all'industria cartaria.

Il suolo rappresenta una componente fondamentale di quasi tutti gli ecosistemi terrestri, ma questa circostanza viene spesso data per scontata. Il suolo dovrebbe invece essere considerato come il fondamento di qualsiasi ecosistema del quale è parte integrante, poiché la produttività del suolo finisce per determinare l'aspetto di quello stesso ecosistema cui appartiene, in termini della vita vegetale e animale che è in grado di supportare. Ad esempio, negli ecosistemi

forestali i suoli possono condizionare la composizione delle specie arboree, la produttività in termini di legname nonché la ricchezza e la diversità della fauna selvatica. I suoli forestali sono altresì fondamentali per il mantenimento delle riserve idriche e della capacità produttiva a lungo termine anche dei terreni di pianura. In ambito agricolo, la qualità dei suoli esercita un ruolo affatto significativo sui livelli produttivi delle colture dal momento che i nutrienti del terreno e le proprietà fisiche dello stesso hanno un impatto diretto sui raccolti. Nelle aree urbanizzate, il suolo svolge invece un ruolo fondamentale in termini di riduzione della corruzione e del deflusso delle acque meteoriche grazie alla capacità di infiltrazione e assorbimento. Alla fine, è possibile affermare che l'importanza del suolo viene tendenzialmente trascurata fino a quando la qualità dello stesso non risulta compromessa, cessando di esercitare quelle funzioni fondamentali attese sia in termini ecologici che economici.

GLI ELEMENTI FONDAMENTALI PER COMPNDERE LA COMPLESSITÀ DEL SUOLO

Nel suolo si trovano diversi strati orizzontali (detti orizzonti), che ne costituiscono il profilo. L'identificazione dei confini dei diversi orizzonti di un suolo si basa sulla valutazione di parametri quali il colore, la tessitura, la struttura, la consistenza, l'eventuale distribuzione delle radici, la presenza di frammenti di roccia parentale, che caratterizzano ogni singolo strato.

Cinque sono i principali fattori che influenzano lo sviluppo e la differenziazione di un suolo, definiti per la prima volta da Hans Jenny, un pedologo americano della prima metà del 1900. Secondo le indicazioni di Jenny (Jenny, 1941), tali fattori includono:

- Il substrato parentale è la matrice minerale (ma, in taluni casi, pure di natura organica), indenne da alterazioni biochimiche, da cui prende avvio la formazione di un suolo. Le matrici parentali determinano le proprietà sia chimiche che fisiche di un suolo e possono inoltre influenzare quelle che alla fine saranno in un terreno la capacità di drenaggio, la porosità e la disponibilità d'acqua per le piante.
- le condizioni climatiche (soprattutto, precipitazioni e temperatura) al contorno. Per esempio l'azione combinata di vento e piogge battenti può innescare processi erosivi superficiali, esponendo gli strati

più profondi a condizioni tipiche della superficie in termini di azione degli agenti atmosferici.

- L'attività biotica, microbica, animale e vegetale. Il metabolismo microbico è fondamentale per il mantenimento dei cicli biogeochimici degli elementi. L'attività di organismi animali (quali – tra gli altri – lombrichi, formiche e termiti) influenzano le caratteristiche degli orizzonti superficiali (in particolare, i lombrichi sono responsabili primari della veicolazione dei detriti organici dalla superficie del suolo negli strati sub-superficiali del profilo). Anche le piante possono esercitare una forte influenza sulla dinamica di formazione e sulle proprietà di un suolo: ad esempio, se le fasi di formazione di un suolo avvengono al di sotto di una copertura forestale o del manto vegetazionale di una prateria, tutto ciò può influenzare notevolmente gli apporti di carbonio nel sistema e, in ultima analisi, il modo in cui il suolo si differenzia attraverso la formazione degli orizzonti. Le radici delle piante favoriscono infatti l'infiltrazione delle acque meteoriche, determinano la rottura di eventuali strati densi e compatti del suolo e possono richiamare nutrienti e acqua dagli strati profondi del profilo.
- la topografia (pendenza ed esposizione). La condizione declive può influenzare sia l'erosione che i fenomeni di deposizione lungo i pendii e al fondo degli stessi. I suoli che insistono su ripide scarpate sono suscettibili di fenomeni erosivi accelerati, al

contrario lo sviluppo dei suoli nelle aree pianeggianti è fortemente influenzato dalle capacità di drenaggio, laddove i suoli ben drenati tendono ad avere uno sviluppo più accentuato rispetto ai suoli scarsamente drenati. È importante ricordare che i pendii esposti a sud ricevono una radiazione solare più intensa rispetto ai pendii esposti a nord, il che influisce sulla temperatura del suolo e sulle condizioni di umidità.

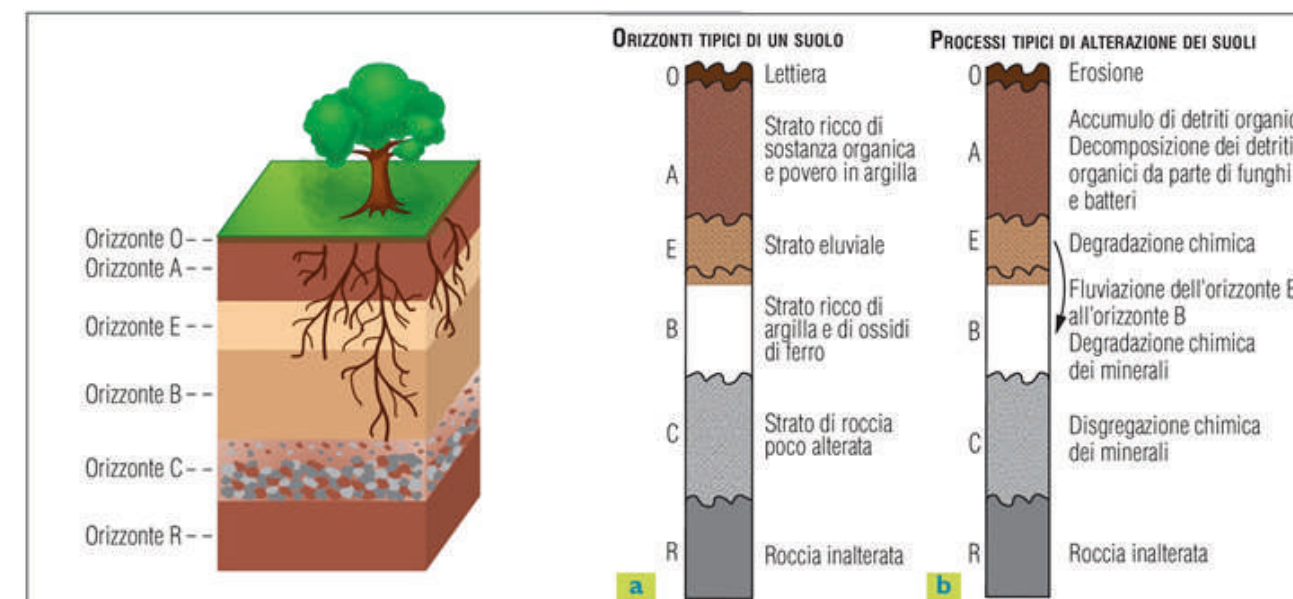
- Il tempo ha due significati separati con riferimento all'evoluzione di un suolo. Le caratteristiche di un suolo sono influenzate infatti sia da un tempo cronologico sia da un tempo (età) fisiologico. Un lungo tempo in senso cronologico può non essere sufficiente per uno spinto processo di formazione del terreno se tutto parte da un perdurante modesto grado di alterazione della matrice parentale. D'altra parte, l'"età" di un suolo si riferisce comunemente al grado o alla quantità di alterazione che quel suolo ha subito. Questa "età" non coincide col tempo cronologico, bensì rimanda alle caratteristiche fisiologiche proprie di un terreno in virtù della specifica fase lungo il processo di alterazione.

Le proprietà fisiche di un suolo hanno una profonda influenza sulla qualità e sulla produttività del suolo stesso, determinandone i livelli di nutrienti e umidità.

Le proprietà fisiche del suolo comprendono:

- La **tessitura** di un suolo è determinata dalle quantità relative di sabbia, limo e argilla che lo costituiscono, poiché le particelle di tali componenti hanno dimensioni diverse: le argille hanno un diametro granulometrico < 0,002 mm, le dimensioni delle

Fig. 1 - Orizzonti principali identificabili in un tipico profilo di suolo (a), ed evoluzione cui un profilo generico può andare incontro (b).



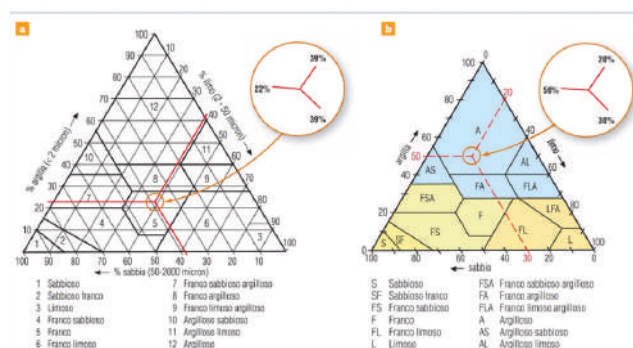
particelle di limo sono comprese tra 0,002 e 0,05 mm, mentre quelle delle sabbie oscillano tra 0,05 e 2,0 mm. Le percentuali relative di sabbia, limo e argilla riconducono un determinato suolo ad una delle diverse classi tessiturali.

La densità apparente di un terreno è la massa del suolo in relazione ad un volume noto da questo occupato ed è spesso utilizzata come indicatore della compattezza del suolo stesso. La compattezza diminuisce la capacità delle radici delle piante di penetrare attraverso il profilo di un suolo. La densità apparente è correlata alla classe tessiturale ed alla porosità del suolo.

Tipicamente i suoli a tessitura fine hanno densità apparente inferiore rispetto ai terreni a tessitura grossolana; I valori di densità apparente ideali per la crescita delle piante vanno da $< 1,10 \text{ g cm}^{-3}$ per le argille a $< 1,6 \text{ g cm}^{-3}$ per le sabbie.

Oltre alla tessitura, anche la copertura vegetale di un suolo e la gestione cui è sottoposto hanno un impatto sulla densità apparente. In genere, i valori della densità apparente di suoli forestali sono assai più bassi rispetto ai valori registrati in terreni agricoli o del contesto urbano. I suoli forestali tendono ad avere una porosità maggiore come conseguenza della estesa espansione radicale delle specie arboree, dell'attività particolarmente intensa da parte della componente biotica, dell'accumulo di sostanza organica alla superficie del suolo a fronte di limitate azioni di disturbo di natura antropica.

Fig. 2 - (a) Triangolo della tessitura USDA. Nell'esempio viene considerato un campione con il 39% di sabbia, 39% di limo e 22% di argilla. Le rispettive linee (in rosso) si incontrano nell'area contrassegnata con il numero 5: di fatto, terreno cosiddetto "franco" (medio impasto). (b) Triangolo della tessitura IUSS (Unione Internazionale di Scienze del Suolo) che esprime i valori di un terreno fortemente A-argilloso (50% argilla, 20% limo, 30% sabbia).



La capacità di ritenzione idrica rappresenta la quantità di acqua che un suolo può trattenere e dipende dalla tessitura, dalla struttura, dal contenuto di sostanza organica e dall'arrangiamento che i pori assumono nel suolo stesso. La sostanza organica è caratterizzata da un elevato grado di microporosità che favorisce il trattenimento dell'acqua. Pertanto, terreni con consistenti quantità di sostanza organica e/o dotati di una estesa presenza di micropori (ad esempio, terreni a tessitura fine come le argille) hanno generalmente una più elevata capacità di ritenzione idrica. Anche il grado di compattezza del suolo influisce sulla capacità di ritenzione idrica poiché un suolo che tende a compattarsi perde progressivamente in struttura, con conseguente collasso della rete di pori associato ad una diminuzione della capacità di trattenere l'acqua.

La struttura del suolo è la descrizione di come le singole particelle appartenenti alle diverse classi granulometriche di un suolo (sabbia, limo e argilla) si associano a formare aggregati, quale conseguenza dell'azione di agenti meteorici e di fattori fisici e chimici. Di fatto, diversi sono i fattori che influenzano la struttura di un suolo; tra questi rientrano la tessitura, l'umidità, il contenuto di sostanza organica, i fenomeni di compattazione, l'attività degli organismi e le pratiche di gestione del suolo stesso. La consistenza del suolo è la misura della risposta del suolo alla pressione applicata a contenuti di umidità differenti. In altre parole, questo parametro risponde alla domanda: quanto bene il terreno mantiene la sua struttura quando è sottoposto alla compressione? La consistenza di un suolo viene misurata separatamente in condizioni di terreno secco, umido e bagnato dal momento che il contenuto di umidità influisce in modo significativo su come un suolo risponde alla pressione.

Anche il colore aiuta a identificare le caratteristiche di un terreno. Il colore di un terreno varia con la topografia, i fattori climatici e la profondità del suolo; ma anche le condizioni di drenaggio possono avere un grande impatto sul colore. I terreni ben drenati tendono ad essere – come dire – più luminosi dei terreni scarsamente drenati. Nei terreni scarsamente drenati si creano infatti condizioni anaerobiche che favoriscono la riduzione del ferro, con conseguente prevalenza di colori opachi. I terreni che presentano condizioni estremamente riducenti (es. terreni saturi, asfittici) assumono spesso colorazioni

grigio-bluestre. Al colore di un terreno contribuisce tuttavia anche il contenuto in sostanza organica.

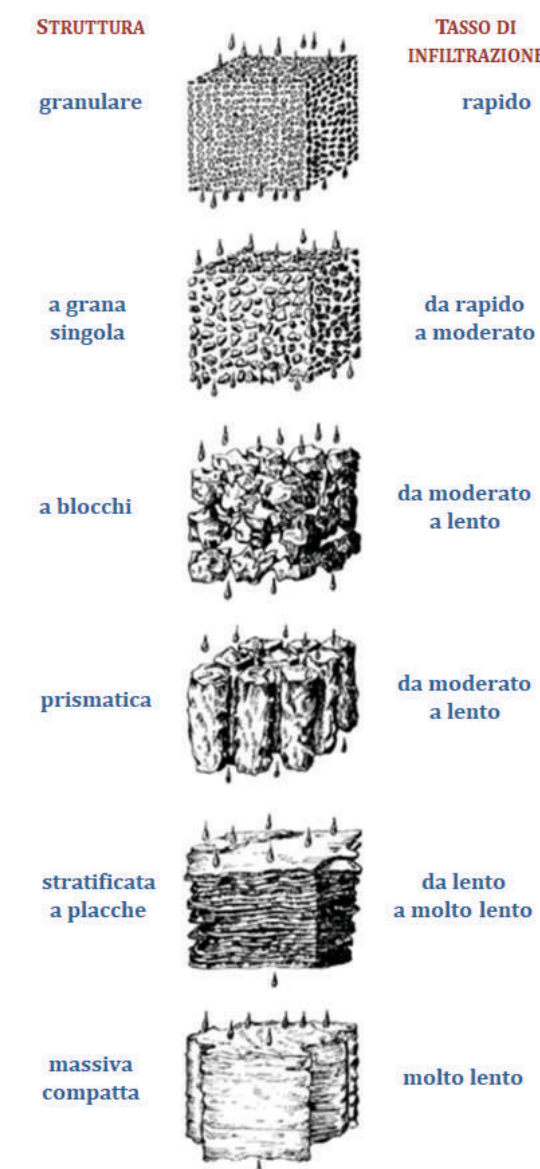
Il contenuto di sostanza organica ha una profonda influenza sia sui processi di pedogenesi sia sulle intrinseche qualità di un suolo. In condizioni di campo, un alto contenuto organico può essere ravvisato dal colore particolarmente scuro del suolo negli orizzonti superficiali. La sostanza organica promuove nel suolo l'attività microbica e della mesofauna, favorisce l'infiltrazione dell'acqua, ha un'elevata capacità di trattenere l'umidità (può trattenere tra l'80 e il 90% del suo peso in acqua) e contiene nutrienti essenziali per la crescita delle piante. La maggiore capacità di ritenzione idrica consente alle piante di disporre di acqua per un periodo di tempo più lungo. Oltre a favorire la ritenzione dell'umidità nel terreno, la sostanza organica agisce come fattore di protezione per il suolo nei confronti dell'energia cinetica disagregante delle gocce di pioggia e funge anche da strato isolante alla superficie del suolo stesso. Senza sostanza organica, il suolo nudo – nella sola componente minerale – risulta molto più suscettibile ai processi di erosione. Dal momento che – scala mondo – miliardi di tonnellate di suolo vengono ogni anno dilavati, è importante che la sostanza organica dei terreni venga salvaguardata quanto più possibile. Altro aspetto da considerare è che la sostanza organica funziona da matrice legante per i nutrienti e composti potenzialmente tossici (es. pesticidi), contribuendo a mitigare i fenomeni di trasporto verso falde e corpi idrici superficiali di queste sostanze, implicate spesso in fenomeni di eutrofizzazione e di contaminazione. A seconda delle condizioni ambientali, la sostanza organica può essere immagazzinata nel terreno per periodi di tempo anche piuttosto estesi. Condizioni climatiche caldo-umide favoriscono la mineralizzazione della sostanza organica da parte dei microrganismi del suolo, mentre i climi più freddi e secchi ne limitano la decomposizione favorendone l'accumulo. Anche le lavorazioni del terreno influiscono sulle dinamiche di accumulo della sostanza organica nei suoli agricoli. Ripetute arature favoriscono infatti la "combustione" della sostanza organica, incrementando i fenomeni ossidativi.

Altro importante fattore per stabilire la funzionalità di un terreno è l'acqua ed il movimento di questa all'interno della matrice pedologica. L'acqua penetra nel suolo per infiltrazione e si sposta attraverso il

profilo del terreno per percolazione. Questi processi dipendono dalle proprietà del suolo che vanno dalla porosità alla forma e alla disposizione degli aggregati. L'acqua si muove attraverso lo spazio dei pori disponibili più facilmente e ad una velocità maggiore nei suoli con struttura granulare rispetto al percorso di flusso più tortuoso ad esempio consentito dalla struttura stratificata a placche.

Fig. 3- Tassi di infiltrazione dell'acqua associati a tipiche categorie strutturali dei suoli.

CHIMISMO DEL SUOLO E NUTRIZIONE DELLE PIANTE



processi chimici e, soprattutto, biochimici che intervengono nel suolo rivestono un ruolo chiave per la produttività delle piante e nel condizionare la compatibilità del terreno alle diverse specie. In particolare, rivestono importante significato le caratteristiche della roccia parentale ed i processi disagregativi a carico della stessa, la capacità di scambio cationico, i processi di acidificazione derivanti dalla respirazione microbica e radicale nonché le strategie di gestione dei suoli. Il terreno è di fatto il substrato che fornisce i nutrienti necessari per la crescita delle piante ed i nutrienti vanno incontro nel suolo a complessi e delicati cicli biogeochimici, ai quali prendono parte fondamentale i processi di decomposizione e trasformazione della sostanza organica nonché le modifiche derivanti dall'apporto di fertilizzanti a seguito dell'attività agricola.

Processi di alterazione fisica e chimica del letto di roccia parentale alla base della formazione di un suolo. L'alterazione fisica è dovuta a sollecitazioni in grado di fratturare fisicamente la roccia (agenti atmosferici, cicli di gelo-disgelo, pressione esercitata dalle radici delle piante): la matrice parentale alterandosi comincia così a rilasciare i minerali primari. L'alterazione chimica è invece definita come la somma dei cambiamenti delle caratteristiche chimiche della roccia originale, con conseguenti modificazioni in termini di struttura mineralogica, di reattività e di dimensione delle particelle, il tutto guidato dall'instabilità dei minerali primari una volta esposti all'interfaccia con l'atmosfera. Le reazioni di alterazione chimica sono più marcate nei climi caldi e umidi e sono incrementate dall'intervento di acqua e ossigeno nonché dalla presenza di agenti biologici, incluse le sostanze acide prodotte dal metabolismo microbico e delle radici delle piante (Brady e Weil, 2007). I quattro principali processi di alterazione chimica a carico della matrice minerale nella dinamica di formazione di un suolo sono le reazioni di ossidazione, di riduzione, di idratazione e di idrolisi.

Altro parametro di preminente importanza nella caratterizzazione di un terreno in riferimento alla nutrizione delle piante è rappresentato dalla capacità di scambio cationico (cation exchange capacity, CEC). Questa può essere definita come la somma totale dei cationi scambiabili che un terreno può adsorbire (trattenere) e – di conseguenza – nuovamente cedere in determinate condizioni. Sono di fatto le argille e la sostanza organica a determinare questa capacità, in quanto cariche negativamente e perciò in grado di trattenere ioni carichi positivamente. I cationi, come

K⁺, Na⁺ e Ca²⁺, possono essere quindi adsorbiti sulle particelle di argilla e sui colloidi organici (sostanze chimicamente reattive molto piccole con un'ampia area superficiale per unità di massa) del suolo, così da essere resi disponibili per l'assorbimento da parte delle piante, evitandone nel contempo la lisciviazione (Brady e Weil, 2007). I suoli ricchi in sostanza organica e/o argilla hanno generalmente una CEC maggiore rispetto ai suoli dotati di scarso humus o limitati nel contenuto di argilla (cioè, suoli sabbiosi). La CEC tuttavia può variare notevolmente in ragione del tipo di argilla e della quantità/qualità della sostanza organica presente.

Il chimismo di un terreno è fortemente influenzato anche dal pH (espressione dell'acidità o dell'alcalinità del terreno nella scala compresa tra 0/massimo di acidità - e 14/massimo di alcalinità, con il valore 7 corrispondente alla neutralità). La maggior parte dei macronutrienti (azoto, fosforo e potassio) risultano disponibili all'interno dell'intervallo di pH compreso tra 6 e 7 (subacido). La conoscenza del pH di un terreno è particolarmente importante al fine di prendere decisioni compatibili con la gestione delle diverse colture, ognuna delle quali potrebbe richiedere un intervallo di pH tassativo per una crescita ottimale.

La crescita delle piante richiede la presenza nel terreno dei cosiddetti nutrienti minerali. Di fatto, numerosi sono gli elementi che risultano essenziali per la crescita vegetale, distinti in macronutrienti (elementi necessari in quantità più o meno elevate) e micronutrienti (richiesti dalle piante in piccole dosi o addirittura in tracce). Per una crescita ottimale, tutti i nutrienti sono comunque richiesti in quantità specifiche. Rientrano nei macronutrienti l'azoto (N), il fosforo (P), il potassio (K), il calcio (Ca), il magnesio (Mg) e lo zolfo (S). I micronutrienti includono il ferro (Fe), il boro (B), il manganese (Mn), lo zinco (Zn), il rame (Cu), il molibdeno (Mo), il cobalto (Co), il nichel (Ni) e il cloro (Cl). I macronutrienti possono essere ulteriormente classificati in nutrienti primari e nutrienti secondari; generalmente N, P e K sono considerati nutrienti primari perché - se disponibili in concentrazione limitata - sono elementi che limitano la crescita delle piante. Ca, Mg e S sono invece raramente nutrienti limitanti la crescita e – in ragione di ciò - vengono considerati nutrienti secondari.

Di seguito, sono discussi in dettaglio i soli nutrienti primari.

Azoto

L'azoto è tra i nutrienti delle piante quello necessario in maggior quantità e, al tempo stesso, l'elemento che in genere rappresenta il principale fattore limitante per

la crescita vegetale a causa della scarsa di disponibilità immediata per le piante. Infatti, nonostante l'atmosfera possa considerarsi un grande serbatoio di azoto, presente nella sua forma molecolare gassosa (N₂) in ragione di circa il 79%, la maggior parte di questo non può essere direttamente utilizzato da piante e animali. Nei suoli ricorrono sia le forme inorganiche che le forme organiche dell'azoto; le piante, tuttavia, sono in grado di sfruttare (assorbire) solo l'N in forma inorganica. Gli ioni nitrato (NO₃⁻) e ammonio (NH₄⁺) sono le due forme inorganiche utilizzate dalle piante. Il nitrato, tuttavia, in ragione della sua solubilità risulta prontamente disponibile per l'assorbimento da parte delle piante a partire dalla soluzione circolante del terreno. D'altra parte, gli ioni ammonio sono per lo più trattenuti nel complesso di scambio cationico. Nel suolo, l'azoto ammoniacale – in condizioni di buona ossigenazione – può andare incontro al processo di nitrificazione ad opera di specifici batteri chemolitotrofici (i nitrosanti che catalizzano l'ossidazione dell'ammoniaca a nitrito, NH₃ → NO₂⁻, e i nitrificanti che catalizzano l'ossidazione del nitrito a nitrato, NO₂⁻ → NO₃⁻). La maggior parte dell'N (> 95%) presente nel suolo esiste però in forma organica e non è perciò disponibile per l'assorbimento radicale. Fortunatamente, la popolazione microbica del suolo è in grado di metabolizzare l'azoto organico (essenzialmente proteico, ricorrente nei gruppi aminici -NH₂) e di liberarlo – attraverso il processo di ammonificazione – come NH₃ o NH₄⁺, disponibili poi per la nitrificazione. Al contrario, l'N può andare incontro nel suolo ad immobilizzazione in conseguenza della organizzazione delle forme minerali a seguito dei processi di assimilazione microbica e vegetale. Ciò detto, i principali flussi di approvvigionamento di N per i terreni sono rappresentati dall'azoto molecolare di origine atmosferica, organico attraverso il processo di fissazione biologica (azoto-fissazione microbica) attuata da specifici batteri sia liberi che simbiotici, e dalla fertilizzazione per scopi agricoli. L'azoto-fissazione rappresenta il più cospicuo apporto di azoto nella maggior parte degli ecosistemi (Kimmins, 1997). Nei sistemi agricoli, la fissazione biologica annuale di azoto è stimata in circa 50-70 milioni di tonnellate di N a livello globale, principalmente derivanti dalla relazione simbiotica tra specie leguminose e rizobi (Herridge et al. 2008). Le carenze di azoto nelle piante sono tipicamente evidenziate dall'ingiallimento del fogliame e da crescita stentata. Purtroppo, poiché le carenze di azoto ricorrono sovente nel corso dei cicli colturali di numerose specie di

interesse agricolo e possono gravemente condizionare le rese dei raccolti, i fertilizzanti azotati a base di nitrati vengono spesso applicati in eccesso. Essendo però il nitrato estremamente mobile, questo risulta facilmente lisciviabile lungo il profilo del terreno qualora non assorbito dalle piante, potendo così raggiungere le falde. Elevate concentrazioni di NO₃⁻ (> 10 mg L⁻¹) eventualmente presenti nell'acqua potabile derivante dagli acquiferi sotterranei finiscono per rappresentare un pericolo (metaemoglobinemia) per la salute umana e per gli ecosistemi in generale. Ma l'eccesso di N nei suoli sotto forma di nitrati, in determinate condizioni specialmente legate alla scarsa ossigenazione del terreno, magari dovuta ad eccessivo ristagno d'acqua, può favorire il processo di denitrificazione microbica più o meno spinto a carico di NO₃⁻, con rilascio di azoto (perdita netta) in atmosfera principalmente in forma di protossido di azoto (o ossido nitroso, N₂O, gas-serra dal forte impatto sul riscaldamento globale) e di azoto molecolare (N₂). L'azoto è pertanto un nutriente che richiede un'attenta gestione dei terreni, sia per il successo della produzione agricola che per la qualità ambientale in senso lato.

Fosforo

Il fosforo è il nutriente secondo solo all'azoto in termini di quantità necessaria per una ottimale crescita delle piante. La maggior parte del P nel suolo deriva dall'erosione a carico della roccia parentale e dalla decomposizione dei materiali organici. Tuttavia, le concentrazioni di P disponibile per le piante sono, nei terreni, generalmente molto basse. La maggior parte del fosforo ricorre infatti nei suoli in forme insolubili e perciò non disponibili per le piante, e quando forme solubili di P vengono apportate mediante la fertilizzazione, vanno purtroppo incontro a rapida conversione in forme insolubili. La mineralizzazione della sostanza organica restituisce fosforo al suolo, ma se i residui colturali vengono rimossi, anche il fosforo viene rimosso dal sistema. Per questi motivi, il P è spesso un nutriente limitante nel terreno. La carenza di fosforo nelle piante si riconosce dal fogliame verde-bluastro, dalla fioritura rada e dagli steli rachitici e sottili. Poiché le piante richiedono quantità di P decisamente non trascurabili a fronte di una limitata disponibilità naturale nei suoli, si rendono necessari idonei apporti attraverso la somministrazione al terreno di fertilizzanti fosfatici. Proprio in ragione della scarsa disponibilità in forma facilmente assimilabile di

questo nutriente, si è affermato nel tempo il ricorso ad una eccessiva fertilizzazione dei campi con conseguente accumulo di P nei suoli agricoli. A differenza del nitrato, che è mobile verso il basso lungo il profilo del suolo, il P si lega facilmente al particolato sedimentale (frazione fine) venendo così facilmente trasportato per corrvazione verso i corpi idrici superficiali. Un eccessivo apporto di fosforo nelle acque superficiali favorisce di fatto il fenomeno dell'eutrofizzazione (eccessiva crescita algale causata dall'accumulo di nutrienti) con conseguente riduzione dei livelli di ossigeno disciolto nell'acqua; il che porta inevitabilmente a condizioni di anossia evidenziate in genere da massive morie di pesci.

Potassio

Il potassio è l'elemento disponibile nel suolo in quantità maggiori rispetto a qualsiasi altro macronutriente e svolge un ruolo essenziale nel contribuire a proteggere le colture dalle fitopatie. La parte preponderante del K dei suoli esiste in forma di minerali potassici e non è perciò prontamente disponibile per l'assorbimento da parte delle piante. I minerali contenenti K, come feldspati e miche, sono infatti resistenti ai processi di alterazione. Solo circa il 2% del K del terreno è prontamente disponibile per l'assorbimento da parte delle piante, presentandosi nella soluzione circolante ovvero in forma scambiabile (Brady e Weil, 2007). Il potassio nella soluzione del suolo è immediatamente disponibile per le piante mentre il K scambiabile è governato dalla capacità di scambio cationico essendo adsorbito sui colloidi del terreno. Le concentrazioni di K disciolto e scambiabile sono in equilibrio. Così, quando le piante rimuovono K dalla soluzione circolante, potassio viene rilasciato dal complesso di scambio cationico nella soluzione fino al raggiungimento dell'equilibrio. Il potassio si presenta tuttavia anche in forma non scambiabile o fissa. Il potassio identificato come fisso è per così dire intrappolato tra le particelle di argilla e permane non disponibile finché non si converte in K scambiabile. Questa conversione di solito non si verifica nell'arco di una stagione di crescita; pertanto, il K fisso è considerato una forma lentamente disponibile di potassio. Le piante assorbono grandi quantità di K nella loro biomassa epigea, spesso in quantità superiore a quella necessaria per la crescita. A causa di questo assorbimento eccessivo, la raccolta delle colture può significare la rimozione ogni anno di grandi quantità di K dal sistema suolo. La carenza di potassio si osserva di solito a partire dalle foglie inferiori delle piante dal momento che il K viene traslocato dal tessuto

più vecchio a quello più giovane. I sintomi di carenza si manifestano come bruciature gialle lungo il bordo fogliare, crescita lenta e steli deboli. In forma di nitrato, il potassio è estremamente mobile e va facilmente incontro a lisciviazione. Lasciare residui colturali sul suolo può restituire una porzione significativa di K al terreno.

RUOLO DEL COSIDDETTO “BIOTA” DEL SUOLO

Come già accennato, una funzione fondamentale del suolo è anche quella di fornire una ambiente ospitale per una variegata gamma di organismi. Il complesso dei micro-, meso- e macro-organismi (biota) presenti in un suolo riveste un ruolo nodale nei processi di decomposizione/trasformazione dei detriti organici (foglie, tronchi abbattuti e resti animali), peraltro rifornendo il substrato di nutrienti utili per la crescita delle piante. Gli organismi che popolano il suolo comprendono specie microbiche, vegetali e animali. La variegata fauna del terreno si nutre di un ampio novero di fonti energetiche, tra cui biomassa vegetale vivente (erbivori), piccole prede animali (carnivori), materiale organico morto (detritivori), biomassa fungina (fungivori) e batteri (batterivori). La componente vegetale del suolo è costituita da organismi piccoli come diatomee ed alghe per arrivare fino agli apparati radicali delle piante.

Una importante categoria di organismi è costituita dai funghi, fondamentali nell'ambito del ciclo biogeochimico del carbonio con la loro funzione demolitrice dei residui organici. Di grande rilevanza nel suolo sono le micorrize, funghi che formano una associazione simbiotica con le radici di moltissime specie vegetali sia erbacee che arboree, in taluni casi indispensabile per lo sviluppo stesso delle piante. Le micorrize migliorano l'assorbimento di acqua e dei nutrienti – in particolare del fosforo - ampliando la superficie di scambio delle radici e partecipando all'erosione dei minerali dalle rocce parentali con rilascio nel suolo di sostanze nutritive (Fisher e Binkley, 2000).

Collettivamente, il biota di un terreno è responsabile dei processi fisico-meccanici ed enzimatici che contribuiscono alla decomposizione dei detriti organici ed alla formazione di sostanza organica humificata, incrementando peraltro la disponibilità dei nutrienti per le piante. La decomposizione rappresenta uno dei ruoli

più critici che il biota del suolo svolge in un ecosistema tellurico. Senza una decomposizione efficiente, i detriti organici si accumulerebbero sulla superficie del suolo e le sostanze nutritive rimarrebbero immobilizzate all'interno di queste matrici. La decomposizione inizia immediatamente dal momento in cui i detriti organici raggiungono il terreno. Una volta che i detriti si depositano alla superficie del suolo, il biota inizia la disagregazione fisica di queste matrici organiche, ampliando la superficie di attacco per i microrganismi degradatori (batteri e funghi).

Come accennato precedentemente, le radici delle piante costituiscono una componente importante del biota di un suolo. Le radici conferiscono il supporto e lo sviluppo strutturale delle piante, rendendo possibile al contempo l'assorbimento di acqua e dei nutrienti. Come già visto, la relazione tra radici e funghi micorrizici risulta fondamentale per aumentare disponibilità ed efficienza di assunzione degli elementi nutritivi. Le radici fungono anche da serbatoio per l'accumulo di sostanze di riserva e sono coinvolte nella sintesi di ormoni della crescita per la pianta. Lo sviluppo delle radici è controllato da fattori come l'umidità, la compattezza, la struttura, la temperatura e la reazione del suolo. Una volta che le radici vanno incontro a decomposizione, i canali lasciati contribuiscono a migliorare il movimento dell'aria e dell'acqua all'interno del terreno.

L'EROSIONE DEI SUOLI

L'erosione a carico dei terreni è una delle principali emergenze a livello globale. Il fenomeno è definito dalla Soil Science Society of America (SSSA, 2008) come: (i) “L'azione di progressiva abrasione della superficie terrestre da parte di pioggia o acqua di irrigazione, vento, ghiaccio o altri agenti meteorici o di natura antropogenica che erodono, distaccano e rimuovono matrice geologica parentale o suolo da un determinato sito della superficie per depositarlo altrove, comprendendo nei fattori del fenomeno anche processi come lo scorrimento gravitazionale e la cosiddetta erosione dovuta a lavorazione del terreno” o più sinteticamente (ii) “Il distacco e la movimentazione del suolo o delle rocce parentali dovuto all'acqua, al vento, al ghiaccio o alla gravità”. Per prevenire e gestire correttamente i fenomeni erosivi è importante comprendere le caratteristiche del fenomeno. L'erosione di un suolo può essere sia naturale (erosione geologica) sia dipendente dall'intervento antropico (erosione

accelerata). Di fatto, l'erosione accelerata può risultare da 10 a 1000 volte più dannosa dell'erosione geologica (Brady e Weil, 2007). Le cause dell'erosione accelerata includono il disturbo del suolo e della vegetazione naturale dovuto al pascolo intensivo del bestiame, la deforestazione e la ripetuta lavorazione del terreno seguita dal mancato reintegro di sostanza organica, cause vie più esacerbate da precipitazioni intense con corrvazione superficiale delle acque.

In buona sostanza, il processo di erosione si verifica in tre fasi: distacco, trasporto e deposizione. Il primo stadio, il distacco, consiste nella rimozione di matrice pedologica dalla massa del suolo a causa dell'azione della pioggia, dello scorrimento in superficie d'acqua, del vento o di attività legate all'intervento dell'uomo. I materiali distaccati dalla giacitura originaria vengono quindi spostati in altra posizione – solitamente a valle del sito di distacco - dall'azione martellante delle precipitazioni, per galleggiamento, per trascinamento o per rotolamento. Di norma, le particelle di sabbia, essendo più pesanti del limo o dell'argilla, non possono essere trasportate così lontano o alla stessa velocità delle componenti fini del terreno. Limi e argilla rimangono invece sospesi nell'acqua di dilavamento e possono essere trasportati per lunghe distanze. La terza fase del processo di erosione, la deposizione, di solito si verifica in contesti di raccolta rappresentati da pianure alluvionali, zone umide, laghi/bacini artificiali, fiumi e torrenti. La sostanza organica, in quanto fattore fondamentale per l'aggregazione delle particelle di un terreno a formare una struttura stabile, rappresenta un elemento di preminente importanza nel contrasto all'erosione.

CONCETTO DI QUALITÀ DEL SUOLO ED USO DEI SUOLI IN REGIONE DEL GOVERNO DEL TERRITORIO

La definizione di base di qualità del suolo è semplicemente la capacità di un suolo di funzionare (Karlen et al., 1997). Questa definizione in termini funzionali assomma in sé - in perfetto bilanciamento - le componenti fisiche, chimiche e biologiche di un terreno. La versione ampliata di questa definizione funzionale è “la capacità di un determinato suolo di funzionare, nell'ambito dell'ecosistema naturale o gestito che lo comprende, per sostenere la produttività delle piante e degli animali, mantenere o migliorare la qualità

dell'acqua e dell'aria e sostenere l'insediamento e la salute dell'uomo" (Karlen et al. 1997). Ciò che determina una buona qualità del suolo può variare a seconda dell'uso specifico del suolo e/o del contesto geografico. Ad esempio, in un terreno destinato all'agricoltura, la capacità del suolo di funzionare per sostenere la crescita delle colture dipende da diverse caratteristiche del suolo stesso: la densità apparente, l'umidità, il drenaggio e il biochimismo prevalente, solo per citare alcuni fattori. Molte di queste condizioni possono essere modificate attraverso interventi gestionali (es. irrigazione e apporti di sostanza organica), migliorando così la qualità dei terreni in base alla loro funzione. Come già accennato in precedenza, la funzionalità dei suoli influisce anche sulla qualità dell'acqua, dell'aria e della componente biotica. Proteggere e/o migliorare la qualità del suolo può perciò considerarsi un valido presupposto per migliorare la qualità ambientale nel suo complesso.

Di seguito vengono prese in considerazione le tre condizioni prevalenti in cui i terreni presuppongono, per la loro funzionalità, specifiche qualità a fronte di fattori di rischio.

Suoli coltivati e/o adibiti a pascolo - Nelle aree coltivate, i terreni sono soggetti a ripetute lavorazioni meccaniche finalizzate alla rottura del profilo compatto e interessati da trattamenti con fertilizzanti, erbicidi e pesticidi tesi a migliorarne la produttività agricola e a garantire il controllo delle erbe infestanti e dei parassiti animali e fungini. Questi processi possono contribuire ad esporre in superficie gli orizzonti minerali aumentando il rischio di erosione idrica ed eolica. Sotto una gestione impropria, l'agricoltura può perciò essere di grave impatto ambientale. Fortunatamente, le pratiche agricole più aggiornate prevedono metodi vie più rispettosi dell'ambiente al fine di ridurre l'erosione del suolo ed altri impatti negativi come, ad esempio, il rischio di contaminazione delle falde dovuto alla percolazione di fertilizzanti e pesticidi. Agricoltori accorti oggi dovrebbero comprendere che la selezione delle colture e le decisioni di gestione dell'azienda agricola devono sempre più basarsi sulle caratteristiche e sulle condizioni del terreno. Chi opera in agricoltura ormai deve mirare a massimizzare i raccolti creando contemporaneamente un sistema produttivo sostenibile.

E' inoltre utile sottolineare che anche il cambiamento d'uso di un terreno può avere impatti significativi sulla qualità del suolo stesso. Se aree precedentemente

coltivate vengono abbandonate, arbusti e alberi riuocuperanno rapidamente il sito in un processo cosiddetto di rinaturalizzazione. Ciò nonostante, la riserva di carbonio e le dinamiche dei nutrienti all'interno di quel suolo potrebbero richiedere tempi lunghi per riportarsi alle primeve condizioni "naturali". D'altra parte, gli impatti del pascolo sui suoli che prevedono l'allevamento libero all'aperto possono ricondursi a due categorie: [1] impatti dovuti all'azione fisica (calpestio) dello stazionamento degli animali e [2] impatti di ordine chimico e biologico legati al rilascio delle deiezioni animali. Il bestiame al pascolo esercita un'azione di compattazione sul suolo e, in genere, consuma in maniera spinta la vegetazione nelle aree molto frequentate, come i siti abbeveraggio. Di conseguenza, le aree nude compattate sono più suscettibili all'erosione e al ruscellamento superficiale. Anche l'accumulo delle deiezioni può talvolta rappresentare un problema. L'urina e le feci del bestiame possono creare punti di eccessiva concentrazione di nutrienti e di contaminazione batterica. In queste aree l'assorbimento dei nutrienti da parte del metabolismo vegetale può risultare spesso inferiore rispetto al flusso di apporto degli stessi. L'azoto potrebbe così percolare verso le acque sotterranee o essere dilavato verso corpi idrici superficiali. In questi casi, la denitrificazione potrebbe giocare un ruolo positivo solo nel caso in cui il carbonio disponibile fosse in quantità sufficiente a garantire il processo di completa riduzione dissimilativa a N₂, in modo da evitare la formazione di protossido di azoto con grave impatto sull'atmosfera in termini di effetto serra.

Suoli forestali - I suoli forestali sono generalmente confinati su terreni inadatti all'attività agricola o al pascolo. Pertanto, le foreste si trovano tipicamente in aree con topografia più o meno ripida, scarso drenaggio e dove i suoli presentano un profilo assai sottile al di sopra del letto di roccia parentale.

Contrariamente ai suoli agricoli, i suoli forestali hanno però in genere uno strato di lettiera intatto in grado di proteggerli dalle fluttuazioni di temperatura e umidità e dall'erosione del vento e dell'acqua. Le operazioni di taglio del bosco determinano il diradamento della copertura vegetale, situazione che consente alla radiazione luminosa di colpire con maggiore intensità il suolo forestale. Questo aumento dell'esposizione alla luce porta ad una modifica dei processi biochimici che si instaurano nel terreno. Tali cambiamenti possono influenzare la componente biologica del suolo e

spostare la composizione delle specie vegetali e animali presenti nel sito. L'esposizione del terreno a seguito della deforestazione aumenta il potenziale di erosione e di lisciviazione dei nutrienti.

Altri eventi che hanno un impatto dannoso sui terreni forestali sono gli incendi. Il fuoco può alterare lo stato chimico e fisico dei suoli, influire sull'idrologia, aumentare l'erosione del terreno e influenzare la struttura biotica dei suoli. La gravità degli effetti derivanti dagli incendi dipende generalmente dall'intensità dell'evento e dalle condizioni climatiche successive all'incendio e dalle caratteristiche del suolo. A seguito di una spinta combustione, i normali cicli dei nutrienti possono essere gravemente compromessi e può perciò verificarsi una perdita netta di nutrienti per lisciviazione, volatilizzazione e/o trasformazione. Il riscaldamento del suolo è il meccanismo principale attraverso il quale gli incendi hanno un impatto sulla struttura fisica e biotica dei suoli forestali (Neary et al., 1999). Tuttavia il grado di riscaldamento del suolo durante un incendio è molto variabile da sito a sito e dipende dalle caratteristiche della biomassa forestale combustibile, dalle proprietà del terreno (consistenza, struttura, umidità e contenuto in sostanza organica) nonché dal comportamento del fuoco (intensità e durata). Di grande rilevanza è l'impatto che l'incendio può avere sul contenuto organico dei suoli forestali può. La combustione della sostanza organica del terreno, che agisce da agente cementante, può provocare una perdita di struttura del suolo. Di conseguenza, una struttura compromessa può ridurre la porosità, aumentare la densità apparente e diminuire la capacità di infiltrazione e il grado di percolazione del suolo.

Suoli urbani - All'interno delle aree urbane i suoli risultano in genere ampiamente modificati a seguito delle attività antropiche. L'organizzazione infrastrutturale delle città induce inevitabilmente sostanziali cambiamenti a carico delle proprietà fisiche, chimiche e biologiche dei suoli urbani. In particolare, nella maggior parte dei casi questi terreni risentono di fenomeni di compattazione che porta alla riduzione del volume dei pori con conseguente aumento della densità apparente. La perdita di porosità e di struttura dei suoli urbani, combinata all'aumento delle superfici scarsamente permeabili, ha come conseguenza una ridotta infiltrazione e un aumento della corruzione superficiale. Anche in questi casi, l'incorporazione di sostanza organica può contribuire ad un ripristino della porosità e della stabilità degli aggregati, recuperando

così buone capacità d'infiltrazione, di ritenzione dei nutrienti e di mitigazione del deflusso superficiale potenzialmente foriero di danni - anche gravi - in occasione di intense precipitazioni.

QUALE STRATEGIA NELLA GESTIONE DEI SUOLI?

In conclusione, la comprensione delle caratteristiche dei terreni appare affatto indispensabile per una corretta interpretazione dei processi che controllano i fenomeni erosivi e – in condizioni di crescente emergenza per il manifestarsi di stagioni siccitose – dei fattori che influenzano il movimento e lo stoccaggio dell'acqua nelle falde. Ciò vale anche per la previsione delle dinamiche di deflusso e detossificazione di sostanze potenzialmente inquinanti recapitate sui terreni sia a seguito di pratiche agricole che di sversamenti di altra origine e - finalità non meno importante - per la previsione della produttività con riferimento ai suoli agricoli e forestali.

Il suolo è di fatto una risorsa limitata e, come tale, richiede forme di gestione appropriate che mirino non solo al maggiore ritorno economico ma bensì considerino preminente la conservazione della qualità dei terreni, vale a dire la capacità dei suoli di funzionare nell'ambito dei rispettivi ecosistemi.

APPROFONDIMENTO.3

CARATTERISTICHE E
PROBLEMATICHE DEI SUOLI:
PANORAMICA DALLA SCALA
MONDIALE ALLA SCALA LOCALE

SCALA MONDIALE

Secondo l'Atlante mondiale del suolo (Commissione Europea, 2005) sono stati censiti 32 gruppi principali di tipologie di suolo originati dalla grande varietà di rocce e da vari fattori ampiamente diversificati in funzione, in primo luogo, della latitudine.

Carbonio nei suoli: Data tale varietà dei suoli, la quantità di carbonio ivi contenuta risulta molto diversificata; è inoltre difficile da stimare alla scala globale vista la variabilità spesso elevata anche in campioni di suolo relativamente vicini. Per l'importanza dell'argomento, però, la FAO ha elaborato¹ la carta mondiale del carbonio organico del suolo (FAO, 2017) seguita dalla mappa globale delle potenzialità di sequestro del carbonio nei suoli (Global Soil Organic Carbon Sequestration Potential Map - GSOCseq, FAO, 2022), entrambe realizzate nell'ambito delle attività della Global Soil Partnership.

Le maggiori quantità di SOC (carbonio organico²) sono state stimate nel permafrost settentrionale, con circa 190 Pg C nei primi 30 cm di suolo, soprattutto nei terreni torbosi. Qui il carbonio si accumula nei suoli in quantità estremamente rilevanti a causa delle basse temperature che portano a una bassa attività biologica e quindi alla lenta decomposizione della sostanza organica (SO,

contenuto di SOC dal 12 al 18%). Al contrario, nelle regioni aride e calde, come nel caso del deserto del Sahara, la crescita delle piante è naturalmente scarsa e quindi una quantità ridotta di carbonio viene trasferita nel suolo (SOC < 0,6%).

Lastima della SOC totale stoccata nei primi 30 cm di suolo a livello globale è di circa 680 Pg C di cui il 60% si trova in 10 Paesi tra i quali le prime posizioni sono ricoperte da: Russia (19,6%), Canada (12,7%) e USA (8,3%) (FAO, 2017). Per quanto riguarda il sequestro di SOC nei suoli agricoli (primi 30 cm) si stima che il potenziale biofisico globale sia compreso tra 140 - 560 MtC all'anno. Più del 50% del potenziale globale di sequestro di SOC è concentrato in 15 Paesi. L'adozione globale di pratiche di gestione sostenibile del suolo potrebbe potenzialmente portare a una mitigazione annuale dell'8,6 - 33,8% delle emissioni agricole di gas serra (in generale una migliore gestione dei suoli può compensare il 5-20% delle attuali emissioni globali di gas serra). Il sequestro di carbonio nel suolo di terreni coltivati e praterie ha una capacità potenziale di mitigazione climatica compreso tra 0.4 e 8.6 CO₂ eq. all'anno (IPCC, 2019).

Degrado/consumo di suolo: Due miliardi di ettari (13,3%) della superficie globale del pianeta risultano oggi in situazione di degrado, influenzando la vita di circa 3,2 miliardi di persone e comportando una diffusa estinzione delle specie e l'intensificarsi dei cambiamenti climatici (FAO, 2022). Considerando in particolare i suoli, si stima che il 75% risulta essere degradato (JRC, 2018). Arrestare e invertire l'attuale tendenza di degrado dei suoli potrebbe generare fino a 1.200 miliardi € all'anno di benefici economici a livello mondiale (IPBES, 2018).

Inquinamento dei suoli: L'uso di alcuni prodotti chimici di sintesi adottati nelle produzioni agricole convenzionali assume valori pericolosi per la salute dell'uomo, per la qualità dei suoli e per la biodiversità (Knudsen, 2011 in Mercalli, 2017, p. 119 e ss). Secondo la FAO l'utilizzo di pesticidi è aumentato a livello globale del 36% nel periodo 2000-2019 (stabilizzandosi

dal 2012). Per quanto riguarda l'uso dei fertilizzanti inorganici, nel 2019 ha comportato l'immissione di 190 milioni di tonnellate di nutrienti (di cui 57% azotati) (FAO, 2021).

SCALA EUROPEA

In Europa sono stati individuati oltre 320 tipi di suolo (raggruppati in 24 gruppi principali dei 32 esistenti al mondo, con proprietà quindi molto diversificate (Commissione Europea, 2005 e 2006).

Carbonio nei suoli: Secondo il rapporto tecnico (Stolte et al., 2016) del JRC della Commissione europea e del Norsk institutt for bioøkonomi (Ni Bio), nell'Unione europea le emissioni causate dalla perdita di sostanza organica del suolo ammontano a 173 milioni di tonnellate CO₂ l'anno, il che fa dell'UE, dopo l'Indonesia e prima della Federazione Russa, il secondo più grande hotspot di emissioni al mondo a causa del degrado del suolo organico, provocato soprattutto dalle attività antropiche.

Degrado/consumo di suolo: Secondo le più recenti stime (Commissione Europea, 2021) tra il 60% e il 70% dei suoli nell'UE non è in buona salute, continuando a essere soggetti a processi di forte degrado. Il 45% dei suoli europei presenta uno scarso contenuto di materia organica; questa situazione riguarda in particolare l'Europa meridionale, ma colpisce anche zone della Francia, della Germania e del Regno Unito. 115 milioni di ettari, pari al 12% della superficie totale delle terre emerse europee, sono soggetti ad erosione idrica, mentre 42 milioni di ettari sono colpiti dal fenomeno dell'erosione prodotta dal vento. Il 32-36% dei sottosuoli europei è invece vulnerabile al compattamento (JRC, 2018). L'erosione in generale induce la distruzione di un miliardo di tonnellate di suolo europeo all'anno, con una perdita netta superiore a 400 km² tra il 2012 e il 2018 (Commissione Europea, 2021). L'impermeabilizzazione è ritenuta la prima causa del degrado del suolo europeo (ISPRA/SNPA, 2022).

Secondo l'ISPRA (2021) per i suoli agrari europei non si sono registrati miglioramenti significativi, nonostante il rilevante impegno economico delle varie PAC, relativamente al degrado (a partire dall'erosione) né si è moderata la pressione imposta dall'intensivizzazione delle pratiche agricole sulla conservazione della fertilità e della sostanza organica dei suoli. Complessivamente,

in materia di stato dei suoli europei, i segnali sono stazionari o negativi per quanto riguarda i fattori di degrado, nonostante nel decennio appena trascorso la crisi generalizzata del settore delle costruzioni abbia determinato un rallentamento dei trend di crescita del consumo di suolo (ISPRA, 2021).

Essendo il più vasto ecosistema terrestre dell'UE, un suolo sano sostiene molti settori dell'economia, mentre il suo degrado costa all'UE stimate in 50 miliardi di euro ogni anno. Il costo dell'inazione rispetto a questo fenomeno, in Europa supera di almeno sei volte il costo dell'azione (Commissione Europea-DG Research & Innovation, 2020).

Le terre coltivate e i pascoli dell'UE producono servizi ecosistemici quantificabili in 76 miliardi € all'anno: meno di un terzo è generato dalla produzione agricola, 2/3 da altri servizi ecosistemici (Vysna et al., 2021).

Inquinamento dei suoli: In Europa sono stati stimati 2,5 milioni siti con suolo potenzialmente contaminato, di cui il 14% hanno necessità urgente di misure di bonifica (JRC, 2020, su dati 2014).

SCALA NAZIONALE - ITALIA

La grande variabilità litologica e morfologica italiana insieme ai differenti climi hanno influito sulla notevole differenziazione dei suoli.

Carbonio nei suoli: Anche l'Italia ha partecipato allo sviluppo della Carta mondiale del carbonio nel suolo (FAO, 2017), elaborando la carta a livello nazionale (SISS, 2018). Tra il 2012 e il 2021 in Italia si stima una perdita di circa 3.2 milioni di tonnellate (tra il 2006 e il 2012 è stata di oltre 3,5 milioni di tonnellate) di carbonio immagazzinato (stock) a causa della variazione di uso e copertura del suolo (vengono considerate le trasformazioni da suolo naturale ad artificiale, escludendo le rinaturalizzazioni e i cambiamenti tra classi di copertura diverse). In termini economici questo significa una perdita patrimoniale stimata intorno al valore medio di 235 milioni € tra il 2012 e il 2021 e di quasi 259 milioni € tra il 2006 e il 2012 (ISPRA/SNPA, 2022, p. 306). Secondo il IV Rapporto sul Capitale Naturale (Comitato per il Capitale Naturale, 2021), la perdita di benefici economici associata varia invece tra i 491 e i 614 milioni €. Si tratta di uno dei molteplici servizi ecosistemici italiani³ registrati in diminuzione in 6 anni (2012-2018).

1 A seguito del "Simposio globale sul carbonio organico del suolo" organizzato a Roma dalla FAO: hanno partecipato 488 esperti di 111 Paesi; vd anche Soil Organic Carbon – FAO; Global Soil Organic Carbon Map – FAO; Soil organic matter management in agriculture – International Symposium 2018; Soil health and carbon management; Organic Matter Management

2 Carbonio organico (SOC): è un componente fondamentale della sostanza organica (SO), di cui costituisce in media il 58% (SOC=SO/1,724). Sostanza organica del suolo (SO o in inglese SOM, Soil Organic Matter): indica l'insieme di tutti i costituenti organici del suolo nei loro differenti stadi di decomposizione. Pur rappresentando solo una piccola percentuale del suolo (generalmente tra 1% e 5%, a seconda del tipo di suolo, della latitudine e altitudine), ne controlla molte delle proprietà chimico, fisiche e biologiche, risultando il costituente più importante e l'indicatore chiave del suo stato di qualità e fertilità.

3 Nel Rapporto sono stati analizzati 12 servizi ecosistemici (fornitura di biomassa legnosa, agricola, ittica, disponibilità idrica, impollinazione, regolazione del rischio di allagamento, protezione dall'erosione, regolazione del regime idrologico, purificazione delle acque

Degrado/consumo di suolo: L'8% cento circa del territorio italiano è impermeabilizzato e una porzione molto più ampia è interessata da fenomeni di degrado e frammentazione degli habitat, con considerevoli danni anche economici. Dopo un rallentamento durante gli anni della crisi economica, il consumo di suolo è ripreso nel 2021 a un tasso di più di 2,2 m2 al secondo, 19 ha al giorno (CITE, 2022). Tale fenomeno non solo non rallenta ma sfiora i 70 km³ di nuove coperture artificiali in un anno ed è concentrato soprattutto nelle zone periurbane e urbane e nelle aree costiere e di pianura. Una crescita delle superfici artificiali solo in parte compensata dal ripristino di aree naturali, pari quest'anno a 5,8 km³. Un segnale positivo, ma ancora del tutto insufficiente, tuttavia, per raggiungere l'obiettivo di azzeramento del consumo di suolo netto, che, negli ultimi 12 mesi, è invece risultato pari a 63,3 km³, di cui 13,6 di consumo permanente (ISPRA/SNPA, 2022). In Italia sono stati rilevati aumenti dei fenomeni di desertificazione e, più in generale, dei fenomeni di degrado del suolo (compreso il compattamento) connessi al cambiamento climatico e agli usi intensivi del suolo (PNS PAC, 2022, p. 153). La competizione sull'uso del suolo da parte delle attività antropiche, in particolare con fenomeni di consumo di suolo per usi non agro-silvo-pastorali, si concentra soprattutto nelle aree di pianura più produttive e nelle aree rurali, a ridosso degli agglomerati urbani e delle principali infrastrutture stradali (PNS PAC, 2022). L'Italia è al primo posto in Europa per perdita di suolo dovuta a erosione idrica, spiegabile con le elevate pendenze del nostro territorio associate ad alti valori nell'erosività delle piogge, conseguenza di precipitazioni intense e concentrate in particolare a seguito di lunghi periodi siccitosi (ISPRA/SNPA, 2022). Frane, smottamenti e fenomeni alluvionali riguardano il 90% dei Comuni, con quasi un quinto del territorio a rischio medio-alto (CITE, 2022).

Sono state stimate fino a 146 milioni € di perdite economiche associate all'incremento di erosione dei suoli (aumentata da 11,63 a 11,69 ton/ha dal 2012 al 2018, Comitato per il Capitale Naturale, 2021). **Inquinamento dei suoli:** I siti di interesse nazionale (SIN) in Italia, individuati ai fini di bonifica, sono 42 (ISPRA/SNPA, 2022), ai quali si aggiungono circa 30.000 siti

di bonifica di competenza regionale. Nell'insieme, tali aree rappresentano il 3% circa del territorio nazionale e comprendono, tra gli altri, i grandi poli industriali sviluppatisi in Italia a partire dalla fine dell'800. In tali siti, in cui la contaminazione interessa tutte le matrici ambientali (suolo, sottosuolo, acque sotterranee, sedimenti), gli studi hanno mostrato impatti rilevanti sia sulla salute (espressi in termini di eccessi di patologie e di mortalità rispetto ai valori medi) sia sull'ambiente, sugli ecosistemi e sulla biodiversità (CITE, 2022). La contaminazione dei suoli ovviamente è molto più diffusa rispetto ai siti suddetti: ad esempio, tra i punti di debolezza, lo stesso Piano Nazionale Strategico per la PAC (PNS PAC, 2022) individua in Italia l'elevato impiego di prodotti fitosanitari e fertilizzanti in taluni comparti e produzioni, con impatti negativi sull'ambiente e la salubrità degli alimenti. Secondo l'analisi comparativa sviluppata dall'ASVIS (2021) sull'avanzamento dell'Agenda 2030 nei Paesi del G20, l'Italia si attesta come il quinto Paese peggiore tra quelli analizzati (situazione simile a Francia e Germania) soprattutto a causa del consumo di fitosanitari. Un'opportunità alternativa segnalata dal PNS è la crescente disponibilità sul territorio di biomassa (digestato) proveniente da digestione anaerobica da valorizzare come ammendante organico per il suolo in sostituzione di fertilizzanti minerali, anche a tutela della qualità delle acque da surplus di nutrienti.

SCALA PIANURA PADANA/ LOMBARDIA

I suoli della Lombardia sono tra i più fertili e produttivi al mondo (Consiglio Regione Lombardia, 2020). La superficie agricola è la destinazione d'uso prevalente (42%) secondo la cartografia DUSAF 6.0 (2018), seguita dai territori boschivi e ambienti seminaturali (quasi 40%), aree antropizzate (14,5%) e corpi idrici (3,3%). Tra il 2007 e il 2018 si nota una diminuzione delle aree agricole (-342 km³) a vantaggio principalmente delle aree boschive e di quelle antropizzate che si espandono di circa 165 km³ ciascuno (Poliedra - Politecnico di Milano, 2022, p. 1302). **Carbonio nei suoli**⁴: Ersaf (AA.VV., 2013) ha stimato la quantità di carbonio organico nei suoli lombardi in

Tab. 1: Contenuto di carbonio organico a diverse profondità in Lombardia (AA.VV., 2013).

Stock carbonio organico (COrg)	0-30 cm	0-50 cm	0-100 cm	0-150 cm	0-200 cm
<i>totale (Mt)</i>	123,8	168,7	224,4	256,9	278,7
<i>unitario (t/ha)</i>	66,7	90,9	120,9	138,3	150,1
<i>percentuale (%)</i>	44,4%	60,5%	80,5%	92,2%	100%

123,8 milioni di tonnellate nei primi 30 cm mentre se si prendono in considerazione 200 cm di profondità, lo stock ammonta a 278,7 Mt (vd. Tab. 1). In termini di stoccaggio unitario (t/ha), l'analisi ha mostrato che i seminativi sono la copertura di uso del suolo caratterizzata dai valori medi più bassi mentre le torbiere il valore massimo (Tab. 2). In termini di stoccaggio complessivo invece, seminativi e colture permanenti rappresentano il più grande deposito di carbonio della Regione Lombardia, dato che nel 2013 coprivano il 50% della superficie del suolo regionale. Seguono i boschi di latifoglie e conifere (copertura territoriale 31%) e i prati stabili e le praterie alpine (11% del territorio regionale). Lo stesso studio ha sviluppato anche stime sulle variazioni di stock del carbonio organico in funzione dei cambiamenti di destinazione d'uso del suolo. Per esempio, una variazione da seminativi a prato stabile porta ad un aumento di 12,2 t/ha di carbonio nei suoli, contribuendo in maniera significativa all'assorbimento della CO₂ atmosferica. Al contrario, i seminativi che

Tab. 2. Stock carbonio organico medio per diversi usi del suolo (AA.VV. 2013).

Uso suolo	Stock COrg 0-30 cm (t/ha)
<i>Seminativi - culture permanenti</i>	56,0
<i>Prati stabili</i>	68,7
<i>Boschi di latifoglie e misti</i>	75,6
<i>Boschi di conifere</i>	85,5
<i>Praterie naturali di alta quota</i>	80,2
<i>Aree umide (torbiere)</i>	230,2
<i>Aree umide (esculso torbiere)</i>	69,5

vengono convertiti ad urbanizzato, perdono quasi 56 t/ha. Questi dati dicono che la perdita definitiva di suoli agricoli non solo porta alla diminuzione dello stock di carbonio immagazzinato nei suoli, ma ha anche un impatto secondario altrettanto grave e spesso sottoestimato: quello di ridurre sempre più le superfici sulle quali è possibile agire per sequestrare carbonio, diminuendo ulteriormente la resilienza del sistema territoriale agli impatti del cambiamento climatico. Il contenuto in carbonio dei suoli non è ovviamente omogeneo nel territorio lombardo, ma varia a seconda delle condizioni bioclimatiche, del tipo di vegetazione presente e, come già sottolineato, dell'uso del suolo. Osservando la carta del contenuto di carbonio organico del suolo in Lombardia (Autorità Ambientale RL, 2017, p. 63; Fig. 2), si nota che la concentrazione è maggiore nelle aree montane alpine e prealpine, con un contenuto di carbonio che può superare le 100 t/ha, mentre, come presumibile, è in media più bassa nella pianura padana, dove i terreni coltivati hanno un contenuto medio di 55,7 t/ha, con un minimo che arriva a livelli prossimi a quelli che potrebbero essere considerati residuali in alcune aree a ovest e a sud della Regione. Tali aree sono caratterizzate da agricoltura intensiva, scarsa diffusione di allevamenti e presenza di suoli sabbiosi. Contenuti un po' più elevati si rilevano dove è diffusa la zootecnia intensiva, che esercita in questo caso un effetto positivo attraverso l'abbondante apporto ai terreni coltivati di fertilizzanti organici (ma la relativa

perdita di carbonio nei suoli. In questo ambito ERSAF sta collaborando anche alle istruttorie per le misure di de-impermeabilizzazione finanziate nell'ambito del Programma Lombardia. In fase di redazione del PREAC, ERSAF ha provveduto alla stesura in della sezione dedicata alle misure per incrementare lo stoccaggio di carbonio nei suoli; anche in fase di attuazione la collaborazione prosegue in particolare sul tema della rinaturalizzazione e de-impermeabilizzazione (Regione Lombardia, 2022).

da parte dei suoli, qualità degli habitat, sequestro e stoccaggio di carbonio, turismo ricreativo) e la loro variazione fra il 2012 e il 2018 (Comitato per il Capitale Naturale, 2021).

4 Regione Lombardia ha in essere un Accordo di collaborazione con ERSAF che comprende in generale tutte le tematiche legate alla

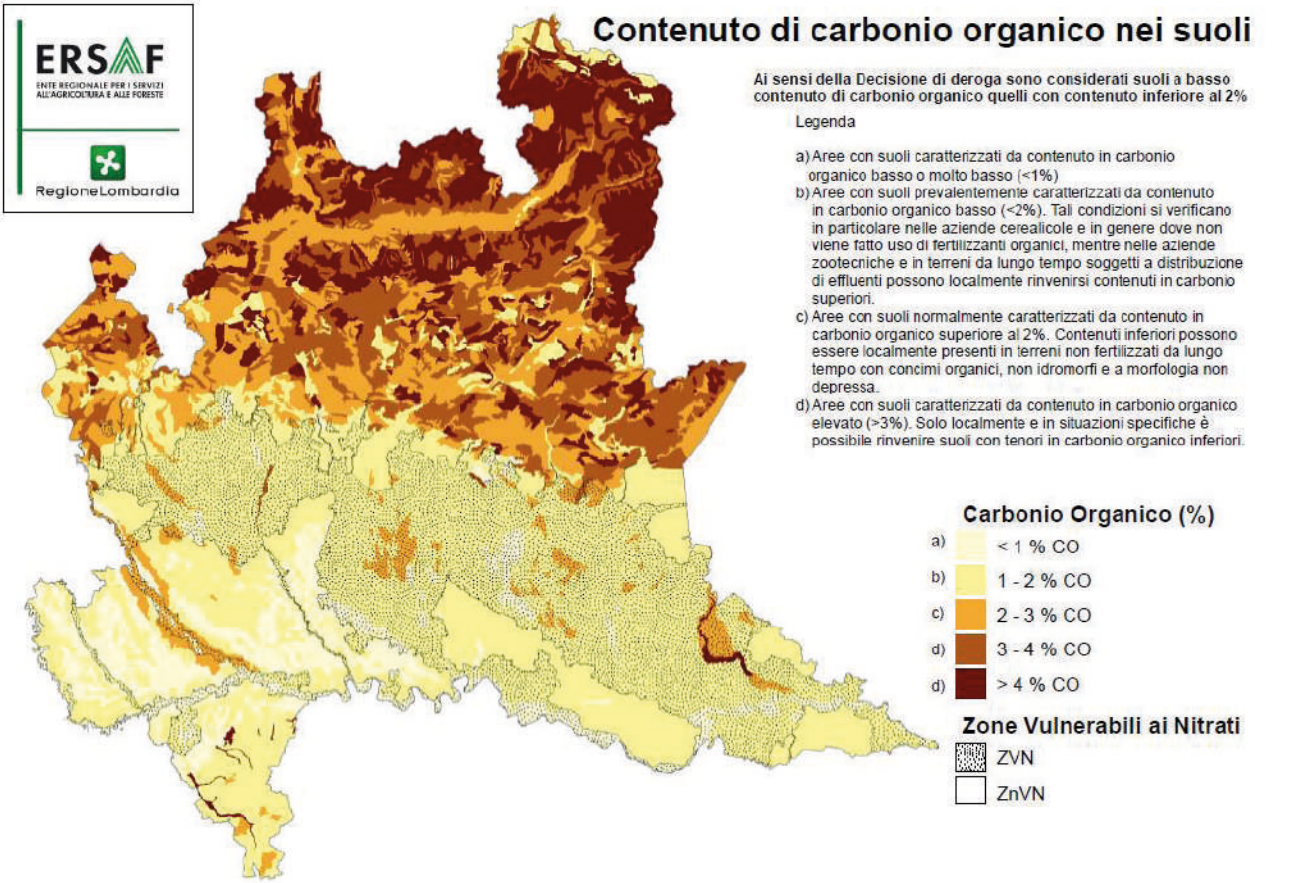
Tab. 3. Variazioni di stock di carbonio organico per variazioni di uso del suolo
Fonte: AA.VV 2013

Variazioni di STOCK CO per variaizoni di uso del suolo (t/ha) - primi 30 cm di suolo				
DA:	-	-	-	-
Seminativi/culture permanenti	0	-12,2	-5,3	-55,7
Prati stabili	-12,2	0	-6,9	-67,9
Boschi di latifoglie/boschi misti	-5,3	6,9	0	-61
A:	Seminativi/culture permanenti	Prati stabili	Boschi di latifoglie/boschi misti	Aree urbane

densità comporta problematiche da altri punti di vista, come l'inquinamento dei suoli e delle acque da nitrati). Stock decisamente più elevati, soprattutto nello strato superficiale, si rilevano nella pianura nord-occidentale della Regione e nella zona morenica del Verbano, dove il clima umido e la discreta presenza di superfici a prato e bosco favorisce la conservazione di suoli con spessi orizzonti superficiali ricchi in sostanza organica. In generale, nei suoli coltivati lombardi il contenuto in

carbonio è fortemente diminuito negli ultimi 50 anni a causa dello sfruttamento intensivo. Nell'ambito di vari progetti (Regione Lombardia - Ersaf, 2013 e Autorità Ambientale RL, 2017) i suoli agricoli tuttavia sono stati valutati performanti dal punto di vista della capacità potenziale di recupero di carbonio, che può portare a incrementi dello stock di circa 1-1,4 t/ha/anno di CO₂ eq. nel caso in cui i suoli stessi vengano gestiti con modalità sostenibili e conservative. Il potenziale teorico di sequestro di ulteriore carbonio organico nei suoli agricoli lombardi nel complesso è stato stimato in 30 Mt corrispondenti a circa 110 MtCO₂eq. Sebbene possa

Fig. 1: Cartografia del contenuto di carbonio organico nei suoli della Regione Lombardia (Autorità Ambientale RL, 2017)



apparire un quantitativo apparentemente modesto, in realtà può avere un'importanza non trascurabile per le politiche di mitigazione delle emissioni di gas serra. Con l'adozione di tecniche innovative e "conservative" di gestione dei suoli agricoli, tale potenziale obiettivo è considerato realmente raggiungibile e anche superabile (Consiglio Regionale, RL, 2020). Tra queste pratiche agronomiche emergono la "non lavorazione" e la "lavorazione minima". Infatti, rispetto ai metodi dell'agricoltura convenzionale, tecniche agronomiche sostenibili non prevedono l'utilizzo dell'aratura o di tutte quelle pratiche che rimescolando gli strati del terreno portano ad una riduzione della sostanza organica nei suoli. Il rimescolamento è lasciato quindi all'opera della fauna terricola e degli apparati radicali delle colture. Tali tecniche hanno il vantaggio di provocare una minore perdita di suolo, un minor livello di emissioni di gas serra e non rovesciamento degli strati (secondo la FAO, inoltre, la "non lavorazione" può ridurre i consumi di carburante fino al 30-40%), una minore perdita di inquinanti nelle acque grazie alla minore perdita di suolo, ma soprattutto, un maggior accumulo di carbonio nei suoli. L'analisi effettuata ha quindi consentito di verificare che con l'adozione di tecniche meno invasive il suolo può aumentare il suo contributo come immagazzinatore di carbonio, aiutando a bilanciare le emissioni da sorgenti fossili e contribuendo alla

mitigazione del cambiamento climatico (si veda anche il capitolo relativo alla mappatura delle ricerche). Da interviste svolte con esperti, è inoltre emerso che oggi gli agricoltori di aziende intensive spesso non conoscono nello specifico i suoli che coltivano: una maggior contezza delle proprietà dei suoli e quindi ad esempio del relativo contenuto in sostanza organica e delle necessità dei terreni porterebbe a una più attenta differenziazione delle pratiche agronomiche virtuose, senza compromettere la redditività. **Degrado/Consumo suolo:** La Lombardia nel 2020 è la prima Regione in Italia per consumo di suolo con 288.504 ettari di copertura artificiale, pari al 12% della superficie regionale, con un aumento tra il 2019 e il 2020 di 765 ettari. Monza e Brianza è la provincia con la percentuale di suolo artificiale più alta (rispetto alle altre province lombarde), con circa il 41% di suolo consumato in rapporto alla superficie provinciale

Nota: Regione Lombardia ha in essere un Accordo di collaborazione con **ERSAF** che comprende in generale tutte le tematiche legate alla perdita di **carbonio nei suoli**. In questo ambito ERSAF sta collaborando anche alle istruttorie per le misure di de-impermeabilizzazione finanziate nell'ambito del Programma Lombardia. In fase di redazione del PREAC, ERSAF ha provveduto alla stesura in della sezione dedicata alle misure per incrementare lo stoccaggio di carbonio nei suoli; anche in fase di attuazione la collaborazione prosegue in particolare sul tema della rinaturalizzazione e de-impermeabilizzazione (Regione Lombardia, 2022).

Tab. 4: Consumo di suolo nelle province lombarde, agg. 2020, ISPRA in Poliedra - Politecnico di Milano, 2022a

Province	Suolo consumato 2020 [ha]	Suolo consumato 2020 [%]	Suolo consumato pro capite 2020 [m ² /ab]	Consumo di suolo 2019-2020 [ha/anno]	Consumo di suolo pro capite 2019-2020 [m ² /ab anno]	Densità di consumo di suolo 2019 - 2020 [m ² /ha/anno]
Bergamo	32.663	11,85	295	113	1,02	4,12
Brescia	49.730	10,39	396	214	1,71	4,48
Como	15.633	12,21	262	30	0,5	2,34
Cremona	18.513	10,45	520	56	1,59	3,19
Lecco	9.666	11,99	289	14	0,43	1,77
Lodi	9.485	12,11	417	21	0,9	2,62
Mantova	24.712	10,55	607	80	1,97	3,42
Milano	49.859	31,62	153	94	0,29	5,93
Monza e della Brianza	16.484	40,63	189	27	0,31	6,56
Pavia	28.173	9,48	521	63	1,17	2,14
Sondrio	8.453	2,64	469	15	0,83	0,47
Varese	25.133	20,96	284	38	0,43	3,15
Regione	288.504	12,08	288	765	0,76	3,21
Italia	2.143.209	7,11	359	5.175	0,87	1,72

(vd. Tab. 3). La provincia di Brescia si colloca invece al secondo posto dopo quella di Roma (se confrontata alla scala nazionale) per consumo di suolo in termini netti (Poliedra - Politecnico di Milano, 2022a, p. 1302 e ss). Notevole risulta l'impermeabilizzazione che, come è noto, costituisce la perdita del suolo e quindi di carbonio organico. Oltre all'impatto sulle risorse idriche (qui non riportatoperesigenzedisintesi),l'impermeabilizzazione influisce anche sulla biodiversità del sottosuolo e del suolo. Secondo la classificazione della capacità d'uso dei suoli (Land Capability) inoltre emerge che in Lombardia le aree più antropizzate sono localizzate nelle aree a maggior capacità d'uso agricolo (fenomeno riscontrato spesso anche in altri contesti mondiali in quanto gli insediamenti che poi si sono sviluppati in poli urbani, sono stati localizzati laddove il suolo risultava più produttivo) (Regione Lombardia, 2021, p. 43-47). Negli ultimi anni inoltre l'agro-fotovoltaico a terra è aumentato (7,16 km³, dato 2018 da DUSAF, in Regione Lombardia, 2022) comportando quindi in generale perdita di suolo agricolo e compromissione delle funzioni caratteristiche della componente pedologica. In Lombardia le conseguenze del consumo di suolo sulla produzione alimentare sono state sinora scarse e compensate dall'incremento della produttività per ettaro, ma nonostante una produttività più che doppia rispetto al dato nazionale, la Lombardia produce solo il 60% del suo fabbisogno alimentare, con forte deficit per i vegetali e surplus per gli animali. Le rese per ettaro in Lombardia sembrano, inoltre, giunte a un livello di saturazione (Autorità Ambientale RL, 2017, p. 63). Oggionni (2003) ha stimato in circa 50 anni il tempo necessario per riportare un suolo della Pianura Padana compattato e impermeabilizzato (come quello urbanizzato) a livelli di qualità agronomica elevata, e in circa 85.000 € all'ettaro il costo derivante dalle operazioni necessarie e della perdita per il mancato reddito. **Inquinamento dei suoli:** A livello regionale, 2.620 siti (al 30/09/2020) hanno completato il processo di bonifica con emissione del certificato di avvenuta bonifica da parte della Provincia competente. In generale, numerosi sono i fenomeni di inquinamento del suolo, connessi agli usi del territorio lombardo. Secondo l'anagrafe regionale dei siti contaminati risultano presenti, nel 2020, 949 siti classificati come "contaminati", il 45% dei quali si trova nell'area metropolitana di Milano e in misura minore nelle province di Bergamo, Varese e Brescia. A questi si aggiungono 5 siti di interesse

nazionale (SIN) e le aree di contaminazione diffusa dei suoli e delle acque sotterranee. Sono inoltre presenti 1.049 siti potenzialmente contaminati (Poliedra-Politecnico di Milano, 2022b).

5. SCALA CITTÀ DI MILANO E CITTÀ METROPOLITANA DI MILANO

Come è noto, l'area metropolitana milanese è situata nella parte centrale della regione lombarda e si inserisce al passaggio tra i rilievi prealpini a nord, i terrazzi fluvioglaciali a nord-est e la degradazione verso la Pianura Padana, dove l'acclività media non supera lo 0,3%. Quest'area si caratterizza per il fatto che l'acqua assorbita nella fascia dell'alta pianura asciutta e defluita nel sottosuolo si imbatte in una zona meno porosa, di sedimenti fini sabbioso-argillosi impermeabili, i quali costituiscono un imponente ostacolo allo scorrimento delle acque della falda freatica. Quest'ultima si avvicina così alla superficie fino ad affiorare in corrispondenza di strati di ghiaie fini e di sabbie semipermeabili, formando la fascia dei cosiddetti "fontanili" che, data la rilevante quantità d'acqua soprattutto in passato, ha costituito il fattore ambientale più importante della ricchezza della città a partire dal Medioevo (marcite con grande disponibilità di foraggio e quindi sviluppo dell'allevamento, etc). La particolare collocazione si riflette anche oggi sugli ecomosaici paesaggistici, sulle e quindi anche sulle tipologie di uso del suolo: la zona nord è densamente antropizzata mentre la zona sud ha ancora un carattere agricolo sebbene intensivo e fortemente frammentato da infrastrutture ed edificati. L'area a sud è interessata dal Parco Agricolo Sud Milano che abbraccia Milano da ovest a est. In quest'ambito nella maggior parte dei casi il suolo è di tipo alluvionale, di medio impasto, formato di strati permeabili impregnati d'acqua con alcuni lembi argillosi di spessore poco consistente. Il suolo è dotato di una tessitura relativamente omogenea, sabbioso-limosa per la maggior parte e con un'acidità media (PASM, 2007, p. 11-12). Per quanto riguarda la città di Milano, le aree agricole rappresentano circa il 17% della superficie comunale e sono presenti solamente oltre il tracciato della circonvallazione viaria (soprattutto a sud, sud-est e sud-ovest) mentre le aree a parco ammontano al 15% circa (Comune di Milano, 2019).

Carbonio nel suolo: Non sono ancora stati realizzati studi sistematici e approfonditi sulla sostanza organica

presente nei suoli della Città Metropolitana e del Comune di Milano. Vi sono però alcuni studi puntuali interessanti. Si rimanda alla Mappatura delle ricerche per la consultazione di dettaglio mentre si citano di seguito 2 ricerche tra le più recenti e interessanti, anche dal punto di vista del metodo (ossia la misurazione di campioni di suolo sul campo e in laboratorio, rispetto ad altre ricerche ove nella maggior parte dei casi vi sono elaborazioni di stime). Il più recente è il progetto ValSOS (Valutazione della Sostanza Organica del Suolo per la produzione agricola sostenibile, 2020-2022⁵). I risultati finali non sono ancora stati pubblicati ma alcuni risultati intermedi possono essere utili per fornire dati di inquadramento della problematica. Il progetto ValSOS nasce per studiare i suoli agricoli e naturali, per fornire una panoramica della loro situazione attuale e mettere in relazione le caratteristiche pedologiche, in particolar modo il contenuto di sostanza organica (SO), con i differenti usi del suolo, le diverse pratiche di gestione agronomica e le scelte inerenti il paesaggio naturaliforme, quali la presenza di ecostrutture (filari, siepi, aree umide, fasce, boscate, ecc.). L'area interessata dal progetto riguarda il territorio della pianura compresa tra Milano e la valle del Ticino, fino alla provincia pavese, e coincide in larga parte con il territorio del Parco Ticino e con la porzione sud-occidentale del Parco Agricolo Sud Milano. L'area comprende due sistemi di pedopaesaggio: la Valle del Ticino (VT) e il Livello fondamentale della Pianura (LFP). Sono ambiti fortemente differenziati per età delle superfci, tipo di sedimenti e dinamiche geomorfologiche; i suoli sono altrettanto differenziati: quelli del LFP sono più evoluti, spesso profondi, a tessitura media, mentre in VT sono decisamente più giovani, piuttosto sottili e più grossolani. Una delle prime azioni dimostrative è stata fatta coinvolgendo gli agricoltori e 16 aziende e basandosi sul confronto delle caratteristiche di suoli di boschi (querco-carpineti), di colture e di marcite. Per quanto riguarda le colture, è stato realizzato il confronto tra suoli coltivati a cereali (autunno-vernini) e a riso con differenti tipologie di gestione agricola (agricoltura biologica, integrata, convenzionale). Sono stati campionati 26 siti (con trivella e a profondità diverse), con successive analisi

di laboratorio. I risultati sono stati anche confrontati con quelli ottenuti tramite il metodo di stima semi-quantitativa del contenuto di SO basato sul colore degli orizzonti pedologici. E' emerso un notevole contenuto di C organico nelle marcite, simile a quello del bosco, nei primi 60 cm di suolo, ossia 20 kg SO/m³, equivalente a 40 kg di CO₂ stoccata, sottolineando l'importante ruolo nello stoccaggio di C organico dei suoli di questo ecosistema. Per quanto riguarda l'analisi del suolo di alcuni campi, laddove erano state fatte analisi precedenti, si è rilevata una decrescita rilevante della sostanza organica in 10 anni. I risultati sono ancora da approfondire meglio relativamente alle ragioni di tale evoluzione ma segnalano un allarme rispetto alla velocità di perdita di sostanza organica. I valori rilevati nei primi 30 cm dei suoli coltivati analizzati variano da 0,88 a 1,36% di C organico, quindi molto ridotti. Data la variabilità dei suoli, sarà necessario aumentare lo sforzo di campionamento mentre è emersa l'importanza di conoscere il passato dei campi oggetto di studio per comprendere meglio l'evoluzione e la presenza o meno della sostanza organica (De Feudis, 2021). Aspetto interessante del progetto è inoltre la formazione degli agricoltori e dei tecnici sui metodi di valutazione visiva del suolo (Sistema di Mansell), sulla biodiversità edafica (e sui metodi biologici di valutazione della qualità) e sulla sostanza organica del suolo agricolo. Un altro studio invece si è concentrato sui suoli della città di Milano, in particolare su quello dei parchi urbani (Canedoli *et al.*, 2020) ove le concentrazioni di carbonio organico, prelevate nei primi 0-40 cm, variano tra 3,0 e 24,8 g C /kg. Lo stock di carbonio organico, espresso come kg di carbonio organico immagazzinato in 1 m³, varia da 1,3 a 12,9 in media, risultando più alta nei suoli interessati da parchi, rispetto a suoli urbani senza questo tipo di caratterizzazione. Nonostante l'estrema variabilità dei suoli analizzati (presumibile in un territorio così urbanizzato), gli stock riscontrati sono risultati sorprendentemente paragonabili a quelli di foreste e di prati e pascoli della regione e superiori rispetto a quelli dei terreni coltivati. Queste ricerche aprono prospettive interessanti anche a livello urbano in termini di mitigazione/compensazione delle emissioni, portando l'attenzione sui parchi urbani che nella

.....
5 Iniziativa realizzata all'interno dell'Op. 1.2.01 "Progetti dimostrativi e azioni di informazione", attivata nell'ambito del Progetto Integrato d'Area Biodistretto dei Navigli (op.16.10.2), del Programma di Sviluppo Rurale 2014 – 2020 della Regione Lombardia, con capofila l'Università degli Studi di Milano Bicocca (gruppo di Geopedologia del Dipartimento di Scienze dell'Ambiente e della Terra), in collaborazione con PN Studio.

maggior parte dei casi anche a livello internazionali non sono considerati nei calcoli dei bilanci del carbonio.

Degrado/Consumo di suolo: Il consumo di suolo nella Città Metropolitana di Milano ammonta nel 2020 a 49.859 ha, ossia il 31,62% della superficie, con un incremento di 94 ha tra il 2019 e il 2020 (vd. Tab. 3, vd. sopra, ISPRA in Poliedra-Politecnico di Milano, 2022a). La Città di Milano inoltre ha un indice di consumo di suolo del 70%, presentando quindi una bassa permeabilità e un'alta impermeabilizzazione che provocano tutti i problemi già sottolineati (Comune di Milano, PGT, 2020). Rischio alluvionale, esondazioni fluviali aggravati dagli eventi meteorici estremi sono aumentati negli ultimi anni comportando l'aumento dei costi di manutenzione dell'infrastruttura di smaltimento e depurazione delle acque, producendo inoltre effetti a catena anche su altre infrastrutture, sull'ambiente naturale e costruito e sulle persone, influenzando negativamente ritmi e attività della città. Le aree a maggior rischio sono quelle del Seveso (area nord di Milano, quartiere di Niguarda) e del Lambro (area est) (Comune di Milano, PAC, 2022).

Inquinamento dei suoli: Secondo l'anagrafe regionale dei siti contaminati, l'area metropolitana di Milano è interessata dal 45% del totale regionale dei siti "contaminati" (Poliedra-Politecnico di Milano, 2022b). Per quanto riguarda la città di Milano nel 2018 erano presenti 408 procedimenti di bonifica aperti (in fase istruttoria - sito potenzialmente contaminato - oppure autorizzato e quindi in corso di bonifica), che interessano una superficie complessiva pari a 13.941.336 m³. Il numero di procedimenti chiusi (ossia a valle di analisi di rischio favorevole oppure certificato da parte della Città metropolitana di Milano) risultava pari a 852, per una superficie complessiva di 21.256.989 m³ (Comune di Milano, 2019).

APPROFONDIMENTO.4

EMISSIONI E ASSORBIMENTI DEL SETTORE AGRO-ZOOTECNICO E FORESTALE

Scala globale

Secondo il più recente rapporto dell'IPCC (2022), a livello globale le emissioni di origine antropica nette di GHG nel 2019 sono state pari a $59 \pm 6,6$ GtCO₂eq, circa il 12% in più rispetto al 2010 (e il 54% rispetto al 1990). L'attuale stima del budget di carbonio rimanente dal 2020 in poi per limitare l'aumento della temperatura media globale a 1,5°C (rispetto a quella dell'era pre-industriale) è pari a 500 GtCO₂ (con probabilità del 50%) mentre per limitarlo a 2°C, pari a 1150 GtCO₂ (con probabilità del 67%) (IPCC, 2022, p. 10).

Il settore agro-forestale (coltivazioni, allevamenti, foreste gestite e uso del suolo, corrispondenti al settore AFOLU - Agriculture, Forestry and Other Land Use¹, si veda il box relativo) contribuisce nel 2019 al 22%² (13 GtCO₂eq) delle emissioni mondiali di gas climalteranti, terzo per importanza dopo il comparto dell'energia e dell'industria (IPCC, 2022, p. 12). Si stima inoltre che contemporaneamente gli ecosistemi terrestri (sia quelli gestiti contabilizzati nell'AFOLU sia quelli naturali) si comportano da sink di carbonio tanto da assorbire circa un terzo delle emissioni totali antropogeniche di CO₂

nel periodo 2010-2019 (IPCC, 2022, p. 1164). Le emissioni di GHG da AFOLU presentano un trend in crescita negli ultimi anni: i contributi emissivi maggiori nell'ambito del settore in oggetto sono ascrivibili soprattutto alle attività che portano al cambiamento d'uso del suolo, in particolare la deforestazione, e alla gestione degli allevamenti.

Più di due terzi (65-70%) delle emissioni prodotte dal settore agro-forestale sono collegabili all'attività zootecnica che rappresenta il 14.5% del totale delle emissioni antropogeniche di gas climalteranti globali (7,1 Gt CO₂eq/anno, FAO, GLEAM 2.0, 2013/2018, stima da analisi LCA³). Il prodotto animale che incide di più in termini di emissioni di gas serra è la carne bovina, con il 41% di tutte le emissioni "zootecniche", mentre al latte bovino spetta il 20% (nel complesso 4,3 Gt CO₂eq, oltre il 60% circa delle emissioni globali di GHG in zootecnia, sono attribuite alle filiere bovine). Se si considera nello specifico solo il CH₄ enterico, questo è determinato soprattutto dagli allevamenti di bovini da latte.

Per quanto riguarda il comparto forestale a livello globale si stima che costituisca un sink di carbonio netto di -7,66 GtCO₂ all'anno (di cui -1,7 GtCO₂/anno localizzato nella zona tropicale) (IPCC, 2022, p. 1179), ossia corrispondente a compensazione di circa il 13% delle emissioni totali antropogeniche.

Scala europea

Le emissioni totali di gas serra dell'UE28, in riduzione dal 1990, equivalgono nel 2019⁴ a circa 4,1 Gt CO₂eq (escluso il settore LULUCF), a cui contribuiscono in particolare la Germania e il Regno Unito (l'Italia è al quarto posto). In termini di emissioni di GHG, l'Europa occupa il terzo posto dopo Cina e Stati Uniti. I principali gas serra in EU28 contribuiscono in modo differente al profilo

1 Le emissioni prodotte dall'uso di energia nell'agricoltura (ad esempio combustibile per trattori) non sono incluse nella classificazione AFOLU dell'IPCC, contabilizzate invece nelle emissioni del settore energetico.

2 Numerosi studi prodotti dalla comunità scientifica affermano che, allargando l'analisi al sistema agroalimentare globale, questo risulterebbe responsabile delle emissioni GHGs per un valore compreso fra 19-29% delle emissioni totali. Di queste: circa un 80-86% derivano dalle attività di produzione agricola, giustificando così l'attenzione globale rivolta verso gli impatti dell'agricoltura sui cambiamenti climatici (Vermeulen et al., 2012, in Mercalli et al. 2017, p. 76-77).

3 L'approccio LCA (Life Cycle Assessment) tiene conto non solo delle emissioni dirette, ma anche di quelle indirette connesse al settore zootecnico, che comprendono quelle che derivano dalla produzione e lavorazione degli alimenti per gli animali, dei trasporti, dei processi di trasformazione dei prodotti e dai cambiamenti di uso del suolo dovuti alla produzione di mangimi. L'approccio LCA quindi porta a risultati diversi sul peso del settore zootecnico, rispetto a quelli elaborati tramite il sistema IPCC.

4 Si è preferito in questo caso riportare i dati del 2019 per evitare di considerare l'effetto della pandemia; nel 2020-2021 infatti le emissioni hanno registrato una riduzione ma già a partire dalla fine del 2021, i trend stimati dei dati sono tornati ai livelli del 2019.

GAS GHG E SINK ANTROPOGENICI

I gas GHG si riferiscono ai rilasci di gas serra da fonti antropogeniche, al netto degli assorbimenti da parte dei pozzi (sink) antropogenici, per quelle specie di gas che sono riportate secondo il formato comune di rendicontazione della Convenzione Quadro delle Nazioni Unite sui Cambiamenti Climatici (UNFCCC): CO₂ da combustione di combustibili fossili e processi industriali (CO₂-FFI); emissioni nette di CO₂ da uso del suolo, cambiamenti di uso del suolo e silvicoltura (CO₂-LULUCF); metano (CH₄); protossido di azoto (N₂O); e i gas fluorurati (F-gas) che comprendono idrofluorocarburi (HFC), perfluorocarburi (PFC), esafluoruro di zolfo (SF₆) e trifluoruro di azoto (NF₃) (IPCC, 2022). I sink di carbonio antropogenici sono quei sistemi che sono stati migliorati dall'intervento umano in modo da aumentare le dimensioni, il tasso o la durata della loro capacità di sequestro di carbonio dall'atmosfera. Questo può essere fatto per mezzo di una vasta gamma di metodi biologici o chimici. Interventi come la creazione di nuove foreste o l'adozione di metodi che portano allo stoccaggio di carbonio (in genere sostanza organica) nel suolo migliorano i sink biologici naturali e sono talvolta indicati come "natural climate solutions" o "soluzioni climatiche naturali". Si stanno anche esplorando metodi per migliorare artificialmente sink chimici e geologici naturali, ad esempio migliorando l'alcalinità degli oceani. I sink di carbonio antropogenici possono anche essere creati utilizzando la "rimozione tecnologica del carbonio", come la cattura diretta dell'aria associata alla bioenergia con cattura e stoccaggio del carbonio. In questi approcci, il carbonio viene sottratto all'atmosfera e immagazzinato sotto terra o sotto forma di prodotti stabili.

emissivo: le emissioni di CO₂ ne determinano l'80%, quelle di CH₄ l'11% e quelle di N₂O il 6% (Parlamento Europeo, 2021⁵).

Il settore agro-zootecnico contribuisce alle emissioni europee nel 2019 per il 10,6%, situandosi (a distanza) al secondo posto dopo il settore energetico (77,1%) e risultando maggiore del contributo dei processi industriali e uso dei prodotti (9,1%) e di quello della gestione dei rifiuti (3,3%) (calcoli effettuati escluso il LULUCF, Parlamento Europeo, 2021). Secondo la Corte dei Conti EU (2021), le emissioni del settore agricolo europeo sono rimaste stabili dal 2010, nonostante metà delle risorse della PAC siano state destinate alla loro riduzione.

Il settore agro-zootecnico è responsabile del 53% delle emissioni di metano: come nel caso della scala mondiale, le emissioni di metano "agricolo" sono principalmente di origine zootecnica, dovute alla fermentazione enterica (80,7%) e alla gestione degli effluenti zootecnici (17,4%), a cui si aggiungono quelle rilasciate dalla risicoltura (1,2 %) (Commissione Europea, 2020). Rispetto ai livelli del 1990, le emissioni di CH₄ del settore in oggetto sono diminuite in modo non significativo, ossia di poco più di un quinto (mentre quelle relative al settore dell'energia si sono dimezzate e quelle provenienti dai rifiuti si sono ridotte di un terzo).

Le 185.000 aziende zootecniche europee (allevamenti intensivi di bovini, suini, pollame), con oltre 150 unità di bestiame adulto (UBA), collettivamente sono responsabili del 43% delle emissioni di metano prodotte dagli allevamenti nell'Unione (oltre che del 60% delle emissioni di ammoniaca) (Varotto, 2022). Sebbene la produzione di alimenti per allevamenti non sia contabilizzata dall'IPCC, si ritiene importante sottolineare che in Europa la dipendenza del bestiame da mangimi concentrati provenienti da aree extraeuropee (importazioni che sono quintuplicate in EU dal 1960) aumenta l'impatto di questa fase della filiera sul clima e sull'ambiente (oltre a determinare la vulnerabilità economica dell'attività zootecnica), soprattutto per l'allevamento di suini e pollame e per il settore caseario (EEA, 2017, p. 240).

Le foreste europee assorbono l'equivalente di circa il 10%

delle emissioni di GHG prodotte in EU ogni anno. Nel 2019, le foreste gestite hanno determinato un valore di assorbimenti di -329,4 Mt di CO₂eq mentre tutti gli altri settori considerati nel LULUCF hanno fatto registrare l'indicatore con segno positivo: i terreni coltivati di +41,1 Mil T di CO₂eq, gli insediamenti di +44,4, i prati e pascoli di +13,1, altri terreni di +1,7, la lavorazione del legno di +16,9 e le zone umide di +16,9 (altro di +0,4) (Consiglio Europeo, 2022).

Scala nazionale - Italia

L'Italia e l'intero bacino del Mediterraneo mostrano, storicamente e costantemente, un riscaldamento superiore a quello del resto del mondo, se calcolato su una serie storica secolare media. Il dato comunemente accettato per l'incremento delle temperature nell'ultimo decennio nella penisola italiana è di +2,1°C rispetto ai livelli pre-industriali, una crescita pari a più del doppio del resto del pianeta (Caserini, 2019). Sebbene il riscaldamento coinvolga tutto il territorio nazionale, si osserva un incremento significativo nel Nord e Nord Ovest del Paese (Poliedra-Politecnico di Milano, 2022).

Dalle stime più recenti (ISPRA, 2022a⁶), emerge che le emissioni di gas serra dell'Italia equivalgono nel 2020 (escluso il LULUCF) a circa 381,2 Mt di CO₂eq (in diminuzione del 27% dal 1990). I principali gas serra contribuiscono in modo differente al profilo emissivo: le emissioni di CO₂ ne determinano il 79,3%, quelle di CH₄ l'11,2% e quelle di N₂O il 5,1%. Se si considera anche il LULUCF, le emissioni per il 2020 scendono a 348,8 Mt (in riduzione del 32% dal 1990). I settori che incidono maggiormente sul quadro emissivo nazionale (considerando il settore LULUCF) sono l'energia (72,3%), l'agricoltura (7,9%), i processi industriali e l'uso dei prodotti (7,5%) e i rifiuti (4,5%).

Nel 2020 (ISPRA, 2022a) le emissioni dall'agricoltura comprensiva di allevamento (senza contabilizzare il settore LULUCF) rappresentano l'8,6% delle emissioni totali nazionali di gas serra (una percentuale di poco superiore alle emissioni a carico dei processi e prodotti industriali, 8,5%). Come negli anni precedenti, la maggior parte del contributo alle emissioni

5 NB: la somma delle % riportate non corrispondono esattamente al 100% in ragione degli arrotondamenti.

6 Documento di rendicontazione delle emissioni di gas serra che l'Italia comunica annualmente e ufficialmente in accordo a quanto previsto nell'ambito della Convenzione Quadro sui Cambiamenti Climatici delle Nazioni Unite (UNFCCC), del Protocollo di Kyoto e del Meccanismo di Monitoraggio dei Gas Serra dell'Unione Europea.

LA CONTABILIZZAZIONE DELLE EMISSIONI DEL SETTORE AGRO-FORESTALE

La contabilizzazione delle emissioni e degli assorbimenti del settore agro-forestale può essere sviluppata seguendo due diverse linee guida, quelle elaborate dall'IPCC per il settore LULUCF (Land Use, Land Use Change and Forestry) e quelle elaborate dalla FAO per il settore AFOLU (Agriculture, Forestry and Other Land Use). Le due linee guida si differenziano per le specifiche finalità per le quali vengono elaborate. Le linea guida Good practice guidance for LULUCF (IPCC, 2003) sono sviluppate a seguito del Protocollo di Kyoto per monitorare gli impegni degli Stati in quanto il Protocollo prevede (agli articoli 3.3 e 3.4) la possibilità per i Governi di utilizzare la riduzione della deforestazione, la creazione di nuove foreste o la gestione delle foreste già esistenti per raggiungere gli obiettivi di mitigazione (cosiddetti “interventi intenzionali”). Per esempio, nel caso del comparto forestale, il settore LULUCF considera il bilancio tra gli assorbimenti di CO₂ - emissioni negative – perché le foreste si comportano da carbon sink (pozzo di assorbimento) aumentando la relativa biomassa e il carbonio nel suolo, e le emissioni positive, causate della mortalità delle piante, incendi, malattiee prelievi legnosi. Se in Italia una foresta viene completamente eliminata, ad esempio a causa del cambiamento di uso del suolo da naturale a urbanizzato, si stima che vengano liberate in atmosfera circa 100-200 ton/ha di carbonio. Pertanto per la contabilizzazione di un tale evento nel settore LULUCF, si assume l'azzeramento dell'assorbimento, anche futuro. Se la foresta invece viene trasformata in un suolo agricolo, che quindi mantiene una certa quantità di carbonio nel suolo, si stima una riduzione dell'assorbimento. La contabilizzazione LULUCF quindi viene utilizzata per misurare il raggiungimento degli impegni di un Paese che derivano dal Protocollo di Kyoto (e dall'Accordo di Parigi). La contabilizzazione del settore AFOLU viene invece utilizzata per misurare i bilanci complessivi sul territorio (carbon sink, ossia bilanci positivi tra emissioni e assorbimenti di gas-serra espressi in unità di carbonio, e carbon source, ovvero bilanci negativi tra emissioni e assorbimenti) di tutte le categorie di uso del suolo (oggetto di gestione antropica) come previsto dalla Convenzione ONU per i cambiamenti climatici. L'AFOLU serve quindi come strumento conoscitivo complessivo: ogni Paese deve redigere gli inventari nazionali (di cui una delle categorie è l'AFOLU) e l'ONU, a partire dai dati nazionali, può sviluppare stime alla scala mondiale. Comparando le due contabilizzazioni, nel 2019 a livello globale circa metà delle emissioni nette del settore AFOLU provengono dalla CO₂ emessa dal settore LULUCF, in modo particolare a causa della deforestazione (IPCC, 2022, p. 8).

climalteranti nazionali è da attribuire al settore energetico, con una percentuale del 78,4%. La quota di contributo dei diversi settori alle emissioni totali di gas serra in Italia è rimasta pressoché invariata nel periodo 1990-2020 (ISPRA, 2022a). Come già sottolineato, le emissioni dell'agricoltura⁷ (compreso l'allevamento) riguardano in particolare CH₄ e N₂O⁸, che rappresentano rispettivamente il 59% e il 39,5% del totale del settore agricoltura in Italia. Il settore agricolo peraltro costituisce la principale fonte dei due gas serra emessi nella penisola (la CO₂ “agricola” rappresenta solo l'1,5% del totale) (ISPRA, 2022a). Nel periodo 1990-2020, il settore agro-zootecnico ha fatto registrare una diminuzione di -11,4% di emissioni totali, dovuta principalmente alla riduzione di emissioni di CH₄ (-13%) proveniente dalla fermentazione enterica e alla diminuzione di quelle di N₂O (- 3,8%) dai suoli

Tab. 1: Emissioni di gas serra per il periodo 1990-2020, per gas e per settore

Fonte: ISPRA, 2022

agricoli (gestione), le due categorie di provenienza più rilevanti (ISPRA, 2022a). Tali diminuzioni sono da attribuire alla riduzione del numero di allevamenti⁹, alla riduzione dei fertilizzanti azotati (contributo dalle misure PAC) e, solo per il metano, dal recupero del biogas da effluenti zootecnici a fini energetici¹⁰. Nel LULUCF gli assorbimenti totali in CO₂eq mostrano un'elevata variabilità nel periodo considerato (ISPRA, 2022a), notevolmente influenzata dal verificarsi annuo degli incendi che hanno mostrato un trend in crescita. Le aree colpite dagli incendi, infatti, vengono conteggiate come perdita del carbon stock. Il fattore chiave per l'incremento del carbon stock è dipeso dall'espansione delle superfici coperte da foreste (in 30 anni l'area rientrante nella categoria foreste è cresciuta del 21.9%, passando da 7.483 kha nel 1990 a 9.578 kha nel 2020). Tale dato si spiega principalmente con la colonizzazione di aree marginali e di terre non più coltivate (ISPRA, 2022a). Di seguito (Tab. 1), la specifica delle varie fonti emissive relative all'agricoltura e al settore LULUCF

Settori	1990	1995	2000	2005	2010	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
kt CO ₂ equivalente													
3. Agricoltura	36,900	37,649	36,682	34,192	31,555	31,515	31,268	31,207	32,141	31,684	31,460	31,354	32,685
CO ₂ : Calcitazione	1	1	2	14	18	14	12	14	12	17	15	16	10
CO ₂ : Applicazione di urea	465	512	525	507	335	450	411	425	561	418	405	396	472
CO ₂ : Altri fertilizzanti contenenti carbonio	44	54	44	42	28	17	21	20	21	20	22	17	21
CH ₄ : Fermentazione enterica	15,564	15,399	15,128	13,293	12,884	13,085	12,932	13,035	13,315	13,429	13,381	13,364	13,535
CH ₄ : Gestione del letame	4,843	4,608	4,573	4,686	4,542	4,395	4,309	4,256	4,212	4,214	4,145	4,138	4,147
CH ₄ : Coltivazione di riso	1,876	1,989	1,656	1,752	1,822	1,661	1,613	1,668	1,715	1,646	1,601	1,583	1,582
CH ₄ : Combustione in campo dei residui agricoli	15	15	15	16	15	15	15	16	17	15	15	15	15
N ₂ O: Gestione delle deiezioni	2,833	2,706	2,619	2,410	2,331	2,137	2,083	2,098	2,123	2,121	2,088	2,068	2,078
N ₂ O: Suoli agricoli	11,254	12,361	12,116	11,468	9,575	9,736	9,868	9,672	10,161	9,799	9,784	9,752	10,820
N ₂ O: Combustione in campo dei residui agricoli	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
4. LULUCF	-3,648	-23,956	-21,113	-35,241	-41,536	-39,625	-40,535	-43,093	-40,235	-19,882	-35,523	-40,680	-32,401
CO ₂	-5,790	-25,137	-22,522	-36,171	-42,316	-40,116	-41,170	-43,684	-40,973	-21,951	-36,135	-41,377	-33,089
CH ₄	1,286	303	714	299	350	156	274	264	306	1,511	161	203	263
N ₂ O	856	878	695	630	430	335	360	328	432	557	451	494	425
Emissioni totali (con LULUCF)	516,260	509,920	536,177	555,667	476,268	410,809	388,806	398,666	399,039	413,600	394,102	377,672	348,847
Emissioni totali (senza LULUCF)	519,908	533,876	557,291	590,908	517,804	450,434	429,341	441,759	439,274	433,482	429,624	418,352	381,248

.....

7 Nell'Italian GHG Gas Inventory di ISPRA (2022a) si specifica che le emissioni dell'agricoltura vengono stimate secondo la metodologia IPCC, a partire da dati aggiornati relativi alle superfici agricole, ai dati relativi alla produzione, al numero di capi allevati e al consumo di fertilizzanti (derivanti da fonti statistiche e da Associazioni di settore degli agricoltori). Per il settore LULUCF, i dati di base sono relativi al Land classification (database uso del suolo), alle superfici forestali (e incremento di biomassa e stock), alle pratiche di gestione agricola (es. dati sull'agricoltura biologica dal database nazionale SINAB) e agli incendi.

8 Per il settore agricolo, ISPRA (2022a) segnala che le stime delle emissioni dirette di N₂O dai suoli agricoli e le emissioni indirette di N₂O derivanti dall'azoto utilizzato in agricoltura sono affette da un elevato livello di incertezza.

9 La riduzione del numero di capi di bovini è il principale fattore di riduzione delle emissioni di CH₄ in particolare perché le emissioni per capo dei bovini sono più di 10 volte superiori a quelle degli ovini e dei caprini. Nel 2020, i bovini contribuiscono con il 79,6% alle emissioni totali di CH₄ da fermentazione enterica (ISPRA, 2022a).

10 Le emissioni derivanti dalla combustione del biogas per la produzione di energia sono stimate e riportate nel settore energetico (ISPRA, 2022a).

(Land Use, Land-use Change and Forestry), secondo la classificazione IPCC (NB: nella tabella il totale riportato alla fine comprende tutti i settori):

Scala regionale - Lombardia

Il recente studio di ARPA Lombardia (ARPA, 2021, All. 2 del PREAC) permette di delineare gli effetti dei cambiamenti climatici nella regione lombarda: le temperature medie annue sono progressivamente aumentate in tutte le stazioni di monitoraggio del clima, mostrando un incremento medio di 0,5°C ogni 10 anni. Gli indici climatici relativi alle notti tropicali, giorni estivi e giorni di gelo mostrano andamenti uniformi coerenti con un complessivo riscaldamento del clima e una differenza tra la macroarea di pianura e la macroarea di montagna, mostrando valori di maggior riscaldamento invernale in montagna e di maggior riscaldamento estivo in pianura (ARPA, 2021). In Lombardia, le emissioni di gas serra hanno fatto registrare una diminuzione di circa il 29% tra il 2005

Tab. 2: Emissioni climalteranti in Lombardia per settore dal 1990 al 2020
Fonte: Elaborazione da Global States and Regions Annual Disclosure (Dati stimati nell'ambito del monitoraggio previsto dall'iniziativa volontaria per la riduzione delle emissioni climalteranti “The Climate Group” e della relativa sottoscrizione nel 2014 da parte di Regione Lombardia del “Compact of States and Regions” -CS&R) in Regione Lombardia, 2022, p. 1341 (PREAC).

	EMISSIONI DI GAS CLIMALTERANTI – MT DI CO ₂ -EQ											
SETTORI	1990*	2005	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	
Emissioni indirette da consumi di energia elettrica	20,3	23,8	16,5	16,0	12,8	14,1	15,4	16,1	15,8	16,4	13,9	
Settore Industriale non compreso nell’ EU – ETS *	11,3	7,3	6,3	5,9	8,3	7,0	6,9	6,9	6,6	8,0	7,3	
Settore Civile (residenziale e terziario)	21,4	22,7	17,4	19,4	13,9	16,0	15,8	15,8	15,7	14,3	14,6	
Trasporti	14,9	21,1	19,4	19,1	18,6	20,4	19,8	19,1	18,1	16,7	14,9	
Rifiuti	3,5	3,2	4,1	3,9	4,2	4,0	3,9	3,8	3,8	3,6	3,5	
Agricoltura	10,1	8,5	7,0	7,0	7,0	6,9	7,1	7,1	7,2	7,3	7,3	
LULUCF	n.a.	n.a.	-4,5	-4,5	-4,8	-4,8	-3,4	-2,6	-2,5	-3,0	-3,1	
Emissioni totali escluso LULUCF	81,5	86,5	70,7	71,3	64,8	68,4	68,9	68,8	67,2	66,3	61,5	
Emissioni totali incluso LULUCF	n.a.	n.a.	66,2	66,8	60,0	63,6	65,6	66,2	64,7	63,3	58,4	

11 A titolo di confronto: In ambito ETS, spicca nel contesto regionale il settore della raffinazione di prodotti petroliferi, che emette circa 2,38 Mt di CO₂eq (pari al 70% delle emissioni totali del settore ETS in Lombardia, che equivalgono a 3,4 Mt di CO₂eq). Escludendo le emissioni ricadenti in regime ETS, le emissioni climalteranti del comparto industriale sono stimate in circa 6,9 Mt di CO₂eq. Complessivamente, dunque, le emissioni del settore industriale sono costituite dalla somma dei due contributi, pari a circa 10,3 Mt di CO₂eq (Fondazione Politecnico di Milano, 2021).

12 Questa scelta è stata dettata dal fatto che consultando i dati diacronici di base di INEMAR sono state rilevate incongruenze.

e il 2020 (61,5 Mt CO₂eq nel 2020). Tale stima è stata sviluppata considerando le emissioni dirette generate da tutte le fonti sul territorio (escluse quelle delle grandi industrie soggette all'EU/ETS¹¹ - Emissions Trading Scheme - in quanto non rientrano nelle competenze regionali ed escluso il LULUCF) e le emissioni indirette da consumo di energia elettrica (anche se la sua produzione non è necessariamente avvenuta sul suolo regionale, dette “emissioni ombra”). L'anno 2020 rappresenta però una situazione particolare in ragione della crisi pandemica; prendendo a riferimento il 2019, quale anno di confronto significativo, la riduzione tra il 2005 e il 2019 è del 22% (Regione Lombardia, 2022a). Si segnala che, laddove non diversamente indicato, la fonte dei dati riportati in questo paragrafo è principalmente il PREAC (Programma Regionale Energia Ambiente e Clima) in approvato nel dicembre 2022 (considerando questo come fonte più aggiornata e ufficiale¹²). I settori che incidono maggiormente sul quadro emissivo regionale sono i trasporti (14,9 MtCO₂eq) che insieme alla combustione non industriale e ai consumi elettrici rappresentano oltre il 70% delle emissioni totali di gas serra regionali (Poliedra-Politecnico di Milano, 2022, p. 1342). Nella seguente tabella (Tab. 2) è riportato l'andamento emissivo dei diversi settori per l'anno 1990 e dal 2005 al 2020.

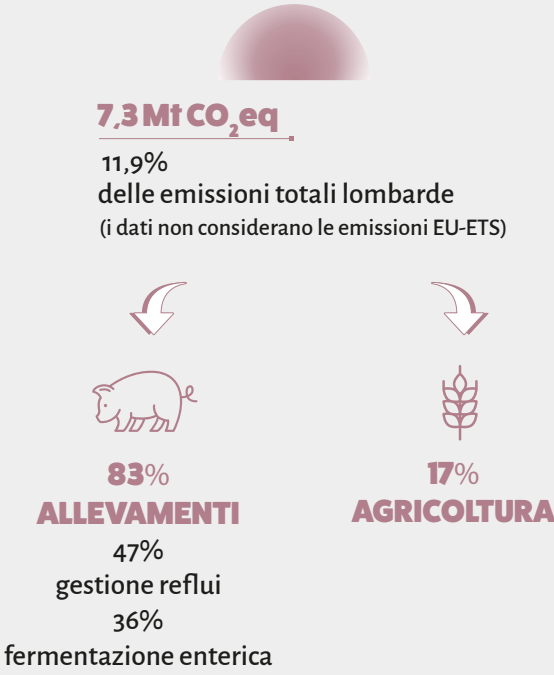
Le emissioni di gas climalteranti in Lombardia sono dovute per il 21% a gas diversi dalla CO₂: per il 13% da CH₄, prodotto per il 65% dal settore agro-zootecnico (gli altri contributi arrivano dal trattamento rifiuti e

dall'estrazione e distribuzione di combustibili); per il 5% da N₂O, derivante sempre principalmente dal settore agricolo (per il 70%); per il 3% da F-gas (gas fluorurati), dal settore industriale e dall'impiego di solventi (Consiglio regionale Lombardia, 2020, p. 614). Come si nota in tab. 2 (e da elaborazioni sui dati riportati), le emissioni di gas serra da parte del settore agro-zootecnico nel complesso in regione Lombardia nel 2020 ammontano a 7,3 Mt di CO₂eq, rappresentando l'11,9% del totale delle emissioni regionali (escluso il settore LULUCF). Le emissioni “agricole” si sono ridotte del 6,2% dal 1990 (la riduzione alla scala nazionale nello stesso periodo è del 11,4%). La Lombardia nel 2019 è risultata la prima regione italiana per quantità di emissioni di GHG prodotte dall'agricoltura (25,7% delle emissioni agricole nazionali). Tale dato va considerato alla luce del fatto che la Lombardia è la prima regione agricola italiana e che riflette la diffusione e la tipologia di agricoltura intensiva presente nella pianura lombarda (elaborazioni dati da ISPRA, 2021 su dati 2019). Del totale delle emissioni del settore, nel 2019 il 17% è associato alle coltivazioni, principalmente dovuto all'uso di fertilizzanti, mentre sono pressoché trascurabili le emissioni dalla combustione di residui colturali. Il maggior contributo (83%) deriva invece dagli allevamenti (AAR, 2021, p. 160; elaborazioni dati del 2017), data l'elevata densità zootecnica (2,79 UBA per ettaro di SAU, contro una media nazionale di 0,68, che riflette la rilevanza del comparto per l'economia agricola della regione) (Consiglio regionale Lombardia, 2020, p. 605). Le emissioni climalteranti del settore zootecnico, come sopra segnalato, riguardano perlopiù N₂O e CH₄: in Lombardia, il 47% deriva dalla gestione degli effluenti di allevamento e il 36% dalla fermentazione enterica. Da tali stime sono escluse altre attività accessorie del settore agricolo, quali la movimentazione di macchinari, il riscaldamento degli ambienti e la lavorazione dei prodotti aziendali (AAR, 2021, p. 160).

Nell'ambito degli studi di scenarizzazione del PREAC, è stata valutata anche la domanda di energia per usi finali: per quanto riguarda il settore agro-zootecnico emerge come il meno energivoro (rispetto agli altri settori: civile, industria non ETS, industria ETS, Trasporti) con un valore di circa 0,4 M tep, costante dal 2005 al 2020 (Regione Lombardia, 2022).



SETTORE AGRO-ZOOTECNICO



PRIMA REGIONE ITALIANA
PER EMISSIONI AGRICOLE
(22% delle emissioni agricole nazionali)

PRIMA REGIONE AGRICOLA ITALIANA
COME VALORE DELLA PRODUZIONE AI PREZZI
DI BASE
(13,9% della PPB nazionale, agricoltura intensiva)

EMISSIONI AGRICOLE DIMINUITE DEL 6,2%
RISPETTO AL 1990
(nello stesso periodo la riduzione a scala nazionale è stata dell'11,4%)

SETTORE LULUCF
(land use, land use change and forestry)



Il settore LULUCF lombardo nel 2020 fa registrare un valore di -3,1 MtCO₂eq (elaborazioni da dati in tab. 2), sebbene dal 2012 (primo anno in cui è stato contabilizzato il settore, quando risultava di -4,5 MtCO₂eq) al 2020, l'assorbimento sia diminuito del 31%.

Le emissioni di gas serra non sono distribuite in modo eterogeneo sul territorio regionale (Poliedra-Politecnico di Milano, 2022). Le emissioni più consistenti nel 2014 derivano dai comuni dell'area del nord milanese (Città Metropolitana di Milano e Provincia di Monza e Brianza), del varesotto e del bresciano. Nello specifico, per le emissioni di CH₄, le densità emissive più elevate nelle zone di pianura (in particolare nel bresciano e nella bergamasca) sono coerenti con l'origine, prevalentemente zootecnica. Le maggiori emissioni per unità di superficie di N₂O si riscontrano nelle zone della pianura orientale, con alcuni casi isolati di picco

Tab. 3: Emissioni di gas serra prodotti da Agricoltura e Allevamenti della Città Metropolitana di Milano, evoluzioni e confronti.

Fonte: Elaborazioni EStà da database in ISPRA, 2022b.

Categoria	(Agricoltura e Allevamenti)		(Agricoltura)	Totale Emissioni (Agricoltura e Allevamenti)
	CH ₄	N ₂ O	CO ₂	
Unità di Misura	Mg CO ₂ eq	Mg CO ₂ eq	Mg CO ₂ eq	Mg CO ₂ eq
1990	975.533	294.314	18.485	1.288.332
1995	904.725	293.400	18.079	1.216.204
2000	488.876	166.099	10.754	665.730
2005	423.268	185.214	18.061	626.543
2010	390.647	165.520	17.492	573.659
2015	316.837	95.906	8.531	421.274
2019	195.565	160.421	20.051	376.037
Cfr 1990-2019	-80%	-45%	8%	-71%
Cfr 2005-2019	-54%	-13%	11%	-40%

nella parte ovest della provincia di Pavia (AAR, 2017, p. 114). Il pattern delle emissioni di CH₄ evidenzia contributi importanti provenienti dagli allevamenti

zootecnici intensivi della pianura orientale, ma si registrano emissioni molto rilevanti anche nella Città Metropolitana di Milano e nella provincia di Pavia (ad esempio a causa delle risaie della Lomellina). Le emissioni di protossido di N₂O sono distribuite pressoché esclusivamente nelle aree pianeggianti delle provincie di Bergamo, Cremona, Brescia e Mantova, imputabili nuovamente agli allevamenti intensivi e all'utilizzo di fertilizzanti azotati. Il dato alla risoluzione comunale è disponibile solo per il penultimo aggiornamento INEMAR (2014 in AAR, 2021).

Scala locale - Città Metropolitana di Milano e Comune di Milano

Milano e la relativa Città Metropolitana presentano un elevato grado di vulnerabilità agli impatti del cambiamento climatico: crescita delle temperature medie (+1,5° rispetto al secolo scorso), aumento della frequenza e intensità delle ondate di calore e incremento dell'intensità delle precipitazioni stagionali che accrescono il rischio idrogeologico (Comune di Milano, 2020).

Per stimare le emissioni di gas serra della Città Metropolitana di Milano sono stati elaborati i dati pubblicati da Ispra (2022b) relativi al periodo 1990-2019,

disaggregati a livello provinciale (il dato comprende le fonti emissive EU-ETS, pertanto non è confrontabile con quello riportato relativo alle emissioni totali della Regione Lombardia). Le emissioni nel 2019 sono risultate di 14,7 Mt di CO₂eq (considerando la somma di CO₂, CH₄ e N₂O), dimezzandosi dal 1990 (-52%). A livello metropolitano, nel periodo preso a riferimento, è il CH₄ che dimostra le migliori performance di riduzione (-69%), seguito dalla CO₂ (-50%) e infine da N₂O (-39%). Secondo il Rapporto Ambientale del PUMS della Città Metropolitana di Milano (PIM, 2020), più rilevante per i gas serra è la combustione non industriale¹³ che è responsabile dell'emissione di quote significative di CO₂ (36%) e di gas serra (30%). Il trasporto su strada rappresenta la seconda fonte principale: circa un terzo delle emissioni di CO₂ (34%) e di gas serra (28%), oltre che per buona parte degli inquinanti relativi alla qualità dell'aria. I gas serra rappresentano un fattore di criticità piuttosto evidente in tutta l'area metropolitana, in particolare lungo le principali infrastrutture di mobilità veicolare.

Anche il settore agro-zootecnico (vd. Tab. 3) mostra un dato complessivo emissivo (gas serra) in riduzione, sia confrontando i dati del 2019 con quelli del 1990 (-71%) sia con quelli del 2005 (-40%) e risulta il 3% del totale delle emissioni metropolitane. La drastica riduzione stimata risulta quasi interamente afferente alle dinamiche relative all'attività zootecnica. La diminuzione rileva soprattutto per il CH₄ (probabilmente per la riduzione degli allevamenti e parzialmente per il recupero di biogas da effluenti zootecnici) rispetto a una riduzione più contenuta delle emissioni di N₂O (grazie alla diminuzione di emissioni relativa in primo luogo alla “gestione delle deiezioni -composti azotati” degli allevamenti e in secondo luogo relativa alle “coltivazioni senza fertilizzanti di sintesi”). Le emissioni di CO₂ del comparto invece risultano aumentate (+8% dal 1990; +11% dal 2005), originate solo dalla categoria “coltivazioni con fertilizzanti di sintesi” (che includono le emissioni di CO₂ da applicazione di urea, calce e CAN - nitrato ammonico calcareo). Considerando le categorie specifiche relative alla sola agricoltura (senza allevamenti), oltre al dato relativo alla CO₂ in aumento, anche la stima delle emissioni di

CH₄ presenta nel complesso una dinamica in aumento (1990-2019): del 4% per le risaie e del 19% per la “combustione di stoppie” (sebbene queste ultime siano non significative rispetto ai totali). Le “coltivazioni con fertilizzanti di sintesi” fanno registrare percentuali di aumento non solo per la CO₂ ma anche per il N₂O, anche se ridotta (1%). Sempre in aumento (+25%) sono le emissioni di N₂O per combustione di stoppie (anche se non rilevanti per quantità). L'unica categoria afferente “agricola” che dimostra una performance positiva è quella delle “Coltivazioni senza fertilizzanti di sintesi” (-60% delle emissioni di N₂O).

Gli allevamenti invece presentano i seguenti trend (1990-2019):

CH₄: -90% (per la maggior parte a carico della fermentazione enterica e in misura minore derivante dalla “gestione delle deiezioni - composti organici”)

N₂O: - 88%

Totali (CH₄+N₂O): -89%.

Il settore LULUCF (162.879 Mg di CO₂eq nel 2019) mostra invece un aumento dell'87% delle emissioni di gas serra considerati nel periodo 1990-2019; se invece si compara il dato del 2019 con quello del 2005, la performance risulta in riduzione (-48%). Probabilmente assumendo il dato del 2005 come riferimento, la stima risulta più corretta in quanto il settore in oggetto nel tempo è stato più volte ridefinito e quindi poco comparabile con le stime del 1990.

Passando alla scala comunale, il quadro emissivo del Comune di Milano è riportato nella tabella seguente (Tab. 4), secondo i dati più recenti disponibili (INEMAR¹⁴ 2017 in AMAT, 2020). Nel complesso emerge che la CO₂ risulta essere la componente prevalente, rappresentando il 95% delle emissioni complessive. Il CH₄ è soprattutto generato dalle perdite di rete (rete gas) e contribuisce maggiormente rispetto al N₂O.

Le emissioni climalteranti nel 2017 sono di 5521 kt CO₂eq alle quali contribuiscono per la maggior parte il Settore Civile (in particolare da riscaldamento di edifici, 2119,3 kt CO₂eq) seguito dal Settore terziario e produttivo (1556,1 kt CO₂eq). L'agricoltura contribuisce per 11,6 kt CO₂eq mentre le foreste per -0,1 kt CO₂eq.

13 Il macrosettore include la “combustione non industriale” cioè le emissioni provenienti da impianti di riscaldamento: istituzionali e commerciali; residenziali; in agricoltura, silvicoltura e acquacoltura (ISPRA, 2022b).

14 INEMAR (INventario EMISSIONi ARia) realizzato da ARPA Lombardia per conto di Regione Lombardia. Si tratta dell'inventario delle emissioni in atmosfera, elaborato a livello regionale, e riportato a scala urbana mediante variabili proxy (AMAT, PAC, 2020).

↓ Tab. 4: Emissioni di gas serra per settore del Comune di Milano (2017)
Fonte: Elaborazioni AMAT su dati INEMAR di ARPA e Regione Lombardia, Unareti, A2A, Curit, ATM, Trenord, PUMS, Comune di Milano (AMAT, 2020).

NB: Nota 17- per Milano questa voce è rappresentata principalmente dal trattamento delle acque reflue

→ Tab.5 (Sintesi delle principali fonti emissive alle varie scale
Fonte: Fonti varie

Settore	CO ₂ kt	N ₂ O kt CO _{2eq}	CH ₄ kt CO _{2eq}	TOT kt CO _{2eq}
Settore civile	2699.4	3.9	5.8	2709.1
riscaldamento edifici	2112.1	1.9	5.3	2119.3
usi domestici	587.3	2.0	0.5	589.8
Illuminazione pubblica	11.2	0.0	0.0	11.2
Settore terziario e produttivo	1548.6	7.2	0.2	1556.1
Trasporti	956.2	8.7	2.1	967.0
Trasporti pubblici	154.0	0.7	0.1	154.8
Trasporto privato	802.2	8.0	2.0	812.2
Agricoltura	0.2	2.9	8.5	11.6
Foreste	-0.1	0.0	0.0	-0.1
Rete gas	0.0	0.0	229.2	229.2
Processi produttivi	0.0	0.0	0.0	0.0
rifiuti (eccetto incenerimento) ¹⁷	0.0	14.0	22.2	36.2
Altro	0.0	0.0	0.2	0.2
Totale	5216	37	268	5521

Scala	Emissioni	CO _{2eq}	Unità di misura	Anno	% rispetto alle emissioni totali
Mondiale	Emissioni antropiche nette	59 (+/-) 6,6	Gt/anno	2019	100%
	Settore AFOLU	13		2019	22%
	Zootecnia	7,1		2018	14,5%
	Foreste	-7,66		2010/2019	
EU (28)	Emissioni antropiche (eslcuso LULUCF)	4,1		2019	100%
	CO ₂	3,3			80%
	CH ₄	0,5			11%
	N ₂ O	0,2			6%
	Settore agro-zootecnico	0,4			10,6%
	Foreste (gestite)	-0,3			
Italia	Emissioni totali (compreso LULUCF)	348,8	Mt/anno	2020	
	Emissioni totali (esluso LULUCF)	381,2			100%
	CO ₂	302,3			79,3%
	CH ₄	42,7			11,2%
	N ₂ O	19,4			5,1%
	Settore agro-zootecnico	32,7			8,6%
	LULUCF	-32,4			
	Foreste	-30,1			
Lombardia	Emissioni totali (esclusi settori ETS e LULUCF)	61,5	Mt/anno	2020	100%
	CO ₂	48,6			79%
	CH ₄	8,0			13,0%
	N ₂ O	3,1			5%
	F-gas	1,8			3%
	Settore agro-zootecnico	7,3			11,9%
	LULUCF	-3,1			
Città Metropolitana di Milano	Emissioni totali (CO ₂ , CH ₄ e N ₂ O)	14,7	Mt/anno	2019	100%
	Settore agro-zootecnico	0,4			3,0%
	LULUCF	0,2			1,1%
Comune di Milano	Emissioni totali	5521	kt/anno	2017	100%
	CO ₂	5216			95,0%
	CH ₄	268			4,9%
	N ₂ O	37			0,7%
	Settore agro-zootecnico	11,6			0,2%
	Foreste	-0,1			

POTENZIALI SVILUPPI DELLA RICERCA

Nello sviluppo della ricerca sono emersi anche altri temi da affrontare che potrebbero essere oggetto di approfondimenti e progetti futuri:

- Approfondire gli aspetti qualitativi della dimensione occupazionale in agricoltura (tramite l'accesso a banche dati non convenzionali) e diversità, debolezze e punti di forza nell'organizzazione del lavoro nell'ambito del confronto tra processi produttivi biologici e convenzionali (tramite lo studio di casi). Quindi considerare gli eventuali gap informativi per capire se e come colmarli.
- Sempre in relazione al tema occupazionale (non particolarmente oggetto di policy) si rileva una necessità di indagine sul tema del lavoro sommerso o comunque mediato (da cooperative, da contoterzisti) e sull'impiego di lavoro a carattere stagionale e quindi non continuativo caratteristico del settore primario.
- Un tema di particolare interesse, anche per lo sviluppo dell'occupazione e dal punto di vista del raggiungimento di più SDGs, riguarda l'agricoltura biologica sociale (con inserimenti lavorativi), che si sta molto sviluppando a livello lombardo. Una ricerca specifica in tal senso potrebbe essere indirizzata a valutare l'impatto complessivo del sistema della Fattorie biologiche sociali e a far emergere bisogni rispetto ai quali rispondere con policy ad hoc.
- Un ulteriore aspetto da approfondire riguarda gli impatti di cambiamenti climatici sul benessere dei lavoratori/lavoratrici e le misure per affrontarli. Come già fatto emergere dall'IPCC nell'ambito dell'ultimo rapporto (2022) a livello mondiale tali effetti sono notevoli (ad esempio, derivanti dalle ondate di calore) e destinati ad aumentare soprattutto nell'area mediterranea, hotspot per l'aumento delle temperature.
- Sarebbe necessario studiare e individuare misure più efficaci per affrontare una problematica strutturale relativa alle condizioni economiche dei lavoratori agricoli, condizioni che, non solo in Italia, sono decisamente inferiori rispetto a tutti gli altri settori, malgrado i fondi della

PAC. Tali misure potrebbero considerare maggiormente il fatto che il settore agricolo (e forestale) è l'unico settore economico a svolgere anche la funzione di assorbimento di CO₂.

- Nella particolare situazione incerta data da crisi globale per la guerra e per gli effetti dei cambiamenti climatici, un'attenzione particolare potrebbe essere indirizzata all'accesso al credito per la copertura del rischio per gli agricoltori (tema assicurativo), in particolare per i piccoli agricoltori.
- Dalla ricerca è emerso inoltre che un problema strutturale dell'agricoltura in generale e lombarda riguarda il ricambio generazionale che necessiterebbe di una ricerca specifica. Sia nella scorsa programmazione PAC sia nell'attuale e anche nelle scelte regionali del Complemento per lo Sviluppo Rurale, vi sono specifiche misure per sostegno degli agricoltori giovani, ma sembra che negli ultimi due anni queste siano state meno partecipate.
- Applicare l'approccio della misura dei servizi ecosistemici alle aree agricole, per comparare i servizi forniti da tali aree con quelli forniti da boschi e foreste (già sviluppati in questo report); studiare se e come attribuire ai servizi ecosistemici un valore economico differenziato in funzione della distanza tra l'offerta e la domanda (per esempio in funzione della distanza dalla città).
- Sviluppare per le foreste il tema della contabilizzazione economica dei servizi ecosistemici culturali e ricreativi, come alternativa sia ai servizi produttivi (rischiosi perché necessitano di investimenti in un contesto in cui la filiera non è adeguatamente sviluppata) sia ai servizi regolativi (attualmente non remunerati ma che, anche in un contesto di mercato, potrebbero non essere comunque sufficienti per assicurare un reddito a causa della proprietà polverizzata).

BIBLIOGRAFIA

RACCOMANDAZIONI DI POLICY AGRICOLTURA E ALLEVAMENTI

AQST – Accordi Quadro di Sviluppo Territoriale (2019), Regione Lombardia. Disponibile in: normelombardia.consiglio.regione.lombardia.it/NormeLombardia/Accessibile/main.aspx?view=showpart&idparte=lr002019112900019ar0005a

Banca della Terra Lombarda (2014). Istituzione della Banca della Terra, L.R. 30/2014, Regione Lombardia. Disponibile in: www.regione.lombardia.it/wps/wcm/connect/518c65fc-d6bd-4306-b855-62b68a3d45bb/Scheda+informativa+Banca+della+Terra.pdf?MOD=AJPERES&CACHEID=ROOTWORKSPACE-518c65fc-d6bd-4306-b855-62b68a3d45bb-mwJcgOX

Bevilacqua P. (2023). Un'agricoltura per il futuro della Terra. Il sistema di produzione del cibo come paradigma di una nuova era, Ed. Slow Food, Bra.

Bocchi S, Spigarolo R. (2018). Bioregione: un progetto per la promozione dello sviluppo locale sostenibile, progetto finanziato da Fondazione Cariplo, presentazione nell'ambito del Convegno Metropoli Agricole (elaborazioni su dati 2011). www.fondazionecariplo.it/static/upload/boc/bocchi.pdf

Cagnoli P. (2022). La nuova direttiva IED, presentazione nell'ambito di PAIR 2030 – Settori Agricoltura e Attività Produttive organizzato dalla Regione Emilia Romagna (Cagnoli è Dirigente Divisione Qualità dello sviluppo Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica). Disponibile in: ambiente.regione.emilia-romagna.it/it/aria/temi/verso-il-nuovo-pair2030-1/incontro-agricoltura-e-attivita-produttive/4-cagnoli.pdf

Chiriaco M.V., Valentini R. (2021). A land-based approach for climate change mitigation in the livestock sector, CMCC & Università della Tuscia, Journal of Cleaner Production, 283, Elsevier. Disponibile in (abstract): www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652620346667?dgcid=author; articolo completo consultato dopo richiesta agli autori (non disponibile online)

Comitato paritetico di Controllo e Valutazione, Consiglio della Regione Lombardia (2021). Un ruolo inedito per le politiche ambientali: cambiare le abitudini - Studi sui nuovi scenari per le politiche regionali promossi dal Comitato Paritetico di Controllo e Valutazione, Regione Lombardia in collaborazione con il Dipartimento di Scienze Sociali e Politiche dell'Università degli Studi di Milano e con PoliS-Lombardia. Disponibile in: www.consiglio.regione.lombardia.it/wps/wcm/connect/48a70944-boe3-4371-b8c5-f267fbd265d1/StudiNuoviScenari_ReportArea_TutelaAmbiente16lug2021.pdf?MOD=AJPERES&CACHEID=ROOTWORKSPACE-48a70944-boe3-4371-b8c5-f267fbd265d1-nHdoSx9

Cicarese, L., Detti, G., Daffinà, R., Silli, V. (2019). Dall'agricoltura biologica un aiuto per il clima. Ecoscienza numero 3, anno 2019. Disponibile in: www.researchgate.net/publication/334829556_DALL'AGRICOLTURA

BIOLOGICA UN AIUTO PER IL CLIMA

Complemento regionale per lo Sviluppo Rurale del Piano Strategico Nazionale (PSN) PAC 2023/2027 (2022). D.g.r. 21 novembre 2022 – n. XI/7370, Regione Lombardia. Disponibile in: www.psr.regione.lombardia.it/wps/wcm/connect/a4f2869d-a9d0-4564-bb12-6ceae7fa127f/ALLEGATO+A.pdf?MOD=AJPERES&CONVERTTO=url&CACHEID=ROOTWORKSPACE-a4f2869d-a9d0-4564-bb12-6ceae7fa127f-ooX1NKw

Convenzione ONU sulla Biodiversità – CBD e ss. (1992-2022). Risoluzione Assemblea Generale ONU A/RES/49/117 (pubblicata nel 1995). Disponibile in: www.cbd.int/convention/text/; www.unep.org/un-biodiversity-conference-cop-15/CC BY 2.0

Distretti del cibo (2020). Approvazione del riconoscimento dei Distretti del cibo relativamente alla L.r. 31/2008 art. 7 bis, D.d.u.o. 2 dicembre 2020 - n. 15119, Regione Lombardia. Disponibile in: www.regione.lombardia.it/wps/wcm/connect/72c53a55-bcc8-4f42-a3c8-eae162f14e3c/D.d.u.o.+2+dicembre+2020+-+n.+15119+-+approvazione+disposizioni+attuative+riconoscimento+distretti+del+cibo.pdf?MOD=AJPERES&CACHEID=ROOTWORKSPACE-72c53a55-bcc8-4f42-a3c8-eae162f14e3c-npBULos

Direttiva Nitrati (1991). Direttiva relativa alla protezione delle acque dall'inquinamento provocato dai nitrati provenienti da fonti agricole, 91/676/CEE, Commissione Europea. Disponibile in: eur-lex.europa.eu/IT/legal-content/summary/fighting-water-pollution-from-agricultural-nitrates.html

Documento di Economia e Finanza Regionale - DEFR (2021-2024). D.g.r. 4934/2021, Regione Lombardia. Disponibile in: www.regione.lombardia.it/wps/wcm/connect/a9e7210f-6b1d-4dcf-bcd9-401f6051ace9/D.G.R.+XI_6560_del_30_06_2022_DEFR_2022.pdf?MOD=AJPERES&CACHEID=ROOTWORKSPACE-a9e7210f-6b1d-4dcf-bcd9-401f6051ace9-o81q6KP

ERSAF (2019). Rapporto sullo stato dell'arte sull'uso delle matrici organiche in Lombardia-Stato dell'arte, progetto LIFE Soil4Life - Azione B.7 Pilot 2 Mantenimento/ricostituzione della Sostanza organica dei suoli agricoli nella Regione Lombardia, Attività B7.1. Raccolta dati per la realizzazione del Pilot in Regione Lombardia. Disponibile in: soil4life.eu/wp/wp-content/uploads/2020/06/Rapporto-stato-dellarte-uso-matrici-organiche-in-Lombardia.pdf

FAO HLPE (2019). Agroecological and other innovative approaches for sustainable agriculture and food systems that enhance food security and nutrition. A report by the High Level Panel of Experts on Food Security and Nutrition of the Committee on World Food Security, Rome. Disponibile in: www.fao.org/3/ca5602en/ca5602en.pdf

Farm to Fork - Strategia per un sistema alimentare equo, sano e rispettoso dell'ambiente (2020). COM (2020) 381 final, Commissione Europea. Disponibile in: eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:ea0f9f73-9ab2-11ea-9d2d-01aa75ed71a1.0009.02/DOC_1&format=PDF; Allegati: eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:ea0f9f73-9ab2-11ea-9d2d-01aa75ed71a1.0009.02/DOC_2&format=PDF

Green Deal Europeo (2019). COM (2019) 640 final - Comunicazione della Commissione al Parlamento Europeo, al Consiglio, al Comitato Economico e Sociale Europeo e al Comitato delle Regioni. Disponibile in: https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:b828d165-1c22-11ea-8c1f-01aa75ed71a1.0006.02/DOC_1&format=PDF; Allegato: eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:b828d165-1c22-11ea-8c1f-01aa75ed71a1.0006.02/DOC_2&format=PDF

IPCC (2022). Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [P.R. Shukla, J. Skea, R. Slade, A. Al Khourdajie, R. van Diemen, D. McCollum, M. Pathak, S. Some, P. Vyas, R. Fradera, M. Belkacemi, A. Hasijsa, G.

Lisboa, S. Luz, J. Malley, (eds.)). Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA. Disponibile in: www.ipcc.ch/report/ar6/wg3/downloads/report/IPCC_AR6_WGIII_SPM.pdf

Kremen C., Iles A., Bacon C.M. (2012). Diversified Farming Systems: An agroecological, systems-based alternative to modern industrial agriculture, Santa Clara University, Scholar Commons. Ecology and Society 17(4): 44. Disponibile in: <https://scholarcommons.scu.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1004&context=ess>

Linee prioritarie – Strategia regionale per la biodiversità (2022). DGR 7551 del 15/12/2022, Regione Lombardia. Disponibile in: www.svilupposostenibile.regione.lombardia.it/it/attachments/file/view?hash=e657b754ca0b2040c089470186dc9c23&canCache=o

Munafò, M. (a cura di) (2022). Consumo di suolo, dinamiche territoriali e servizi ecosistemici. ISPRA, Edizione 2022. Report SNPA 32/22. Disponibile in: www.snambiente.it/wp-content/uploads/2022/07/Rapporto_consumo_di_suolo_2022.pdf

Ortenzi F., Marten R., Valentine N.B., et al. (2022). Whole of government and whole of society approaches: call for further research to improve population health and health equity, BMJ Global Health;7:e009972. doi:10.1136/bmjgh-2022-009972. Disponibile in: gh.bmj.com/content/bmjgh/7/7/e009972.full.pdf

Parlamento e Consiglio europei (2022). Proposta di Direttiva del Parlamento Europeo e del Consiglio che modifica la Direttiva 2010/75/UE del Parlamento europeo e del Consiglio del 24/11/2010 relativa alle emissioni industriali (prevenzione e riduzione integrate dell'inquinamento) e la Direttiva 1999/31/CE del Consiglio del 26/04/1999 relativa alle discariche di rifiuti, COM(2022) 156 final, 5/04/2022. Disponibile in: eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:32d55555-c550-11ec-b6f4-01aa75ed71a1.0004.02/DOC_1&format=PDF

Patto per lo Sviluppo dell'economia, del lavoro, della qualità e della coesione sociale (2001). Regione Lombardia Disponibile in: www.regione.lombardia.it/wps/portal/istituzionale/HP/DettaglioRedazionale/istituzione/attivita-istituzionali/patto-per-lo-sviluppo

Piano d'Azione Regionale per gli Appalti Verdi – PAR GPP (2020). Comunicazione in Giunta Regionale 26 maggio 2020, Regione Lombardia. Disponibile in: www.openinnovation.regione.lombardia.it/it/attachments/file/view?hash=5da5e6778d7504bad6594bf44963e779&canCache=o

Piano Strategico Nazionale PAC 2023-2027 – PSN (2022). Collegato a PAC EU, approvazione con Decisione di esecuzione della CE (C(2022) 8645 final, 2/12/2022) e in sinergia con PNRR, MIPAFF. Disponibile in: www.reterurale.it/downloads/PSP_Italia_15112022.pdf

Piano Territoriale Regionale – revisione PTR (2022). D.c.r. n. 2578 del 29/11/2022 (integrato ai sensi della L.r. 31/2014 Consumo di suolo: integrazione del PTR ai sensi della l.r. n. 31 del 2014 “Disposizioni per la riduzione del consumo di suolo e per la riqualificazione del suolo degradato”), Regione Lombardia. Disponibile in: www.regione.lombardia.it/wps/portal/istituzionale/HP/DettaglioRedazionale/servizi-e-informazioni/enti-e-operatori/territorio/pianificazione-regionale/piano-territoriale-regionale-ptr

PREAC - Programma Regionale Energia Ambiente e Clima (2022). DGR 7553 del 15/12/2022 (approvazione) e Deliberazione N° XI / 6843, Regione Lombardia. Disponibile in: www.regione.lombardia.it/wps/wcm/connect/a64b3ce6-1bec-417a-bd6c-0315e919eda5/PREAC+e+allegati.zip?MOD=AJPERES&CACHEID=ROOTWORKSPACE-a64b3ce6-1bec-417a-bd6c-0315e919eda5-onP9BtW

Programma Regionale di Sviluppo XI Legislatura – PRS (2018-2023). DCR XI/64/2018, Regione Lombardia.

Disponibile in: www.regione.lombardia.it/wps/wcm/connect/c63bedef-38f1-46b4-b7f9-f30c6d8b4a38/Serie+Ordinaria_30+28-07-2018.pdf?MOD=AJPERES&CACHEID=ROOTWORKSPACE-c63bedef-38f1-46b4-b7f9-f30c6d8b4a38-mmael.s

Programma di azione regionale per la protezione delle acque dall'inquinamento provocato dai nitrati da fonti agricole nelle zone vulnerabili e Linee guida per zone non vulnerabili (2020-23). DGR XI/2893/2020 (ai sensi delle Dir. Nitrati 91/676/CEE”) e Linee guida: DGR XI/3001/2020, Regione Lombardia. Disponibile in: www.regione.lombardia.it/wps/wcm/connect/c75abe59-ffdf-45a5-9fo4-6f13297aa7b2/dgr+7553+del+15+12+2022+approvazione+piano.pdf?MOD=AJPERES&CACHEID=ROOTWORKSPACE-c75abe59-ffdf-45a5-9fo4-6f13297aa7b2-okKGoLH;

Programma Strategico Triennale per la Ricerca, l'Innovazione e il Trasferimento Tecnologico (2019). Deliberazione n. XI/469/2019, Regione Lombardia. Disponibile in: www.regione.lombardia.it/wps/wcm/connect/acef44aa-7d02-4078-af3e-fa51e6abd85f/testo+integrale+Programma+Strategico+Trennale+Ricerca+Innovazione+Trasferimento+Tecnologico+2019.pdf?MOD=AJPERES&CACHEID=ROOTWORKSPACE-acef44aa-7d02-4078-af3e-fa51e6abd85f-mCUVAqD

Protocollo lombardo per lo Sviluppo Sostenibile (2019). Regione Lombardia. Disponibile in: www.svilupposostenibile.regione.lombardia.it/it/protocollo-sviluppo-sostenibile/protocollo

Schede Operazioni PSR 2014-2020 (2014). Regione Lombardia. Disponibile in: www.psr.regione.lombardia.it/wps/wcm/connect/15d114ff-0145-48d8-b121-bab060243257/ALLEGATI+-+Guida+Rapida+PSR.zip?MOD=AJPERES&CONVERT_TO=url&CACHEID=ROOTWORKSPACE-15d114ff-0145-48d8-b121-bab060243257-lwKGNQo

SQNBA – Sistema di Qualità Nazionale Benessere Animale, (2022). Decreto interministeriale n. 347750 del 3/8/2022 (MIPAFF e Ministero della Salute) recante la disciplina del “Sistema di qualità nazionale per il benessere animale” istituito ai sensi dell’articolo 224 bis del decreto-legge 19/05/2020, n. 34, introdotto dalla legge di conversione 17/07/2020, n. 77. Disponibile in: www.politicheagricole.it/flex/cm/pages/ServeAttachment.php/L/IT/D/1%252F7%252Fa%252FD.053f7e2c766340897319/P/BLOB%3AID%3D18448/E/pdf?mode=download ; <https://www.izsler.it/2022/08/10/sistema-di-qualita-nazionale-per-il-benessere-animale-e-classyfarm-pubblicato-il-decreto-interministeriale/>

Strategia “Lombardia è ricerca e innovazione” (2016). L.R. 29/2016: Governance evolutiva del sistema regionale della ricerca e dell'innovazione in raccordo con le dinamiche nazionali ed europee, Regione Lombardia. Disponibile in: normelombardia.consiglio.regione.lombardia.it/NormeLombardia/Accessibile/main.aspx?iddoc=lroo2016112300029&view=showdoc

Strategia di Specializzazione Intelligente per la Ricerca e l'Innovazione-S3 (2020-2027). D.g.r. 4155/2020, Regione Lombardia. Disponibile in: Dgr: www.s3.regione.lombardia.it/wps/wcm/connect/9bda0161-05fo-49a3-91f5-do65f3c14717/DGR+XI_4155_2020_S3+2021_2027.pdf?MOD=AJPERES&CACHEID=ROOTWORKSPACE-9bda0161-05fo-49a3-91f5-do65f3c14717-nuVwLTp; Sito dedicato: www.s3.regione.lombardia.it/wps/portal/site/s3/DettaglioRedazionale/strategia/strategia

Strategia nazionale per lo sviluppo sostenibile – SNSvS (2017). CIPE, 2017; in attesa di approvazione dell'aggiornamento 2022 (passata in Conferenza Stato-Regione a sett2022). Disponibile in: www.mase.gov.it/sites/default/files/archivio_immagini/Galletti/Comunicati/snsvs_ottobre2017.pdf

Testo unico agricoltura, foreste, pesca e sviluppo rurale e ss. (2008-2014). L.R. n. 31/2008 “Testo unico delle Leggi

Regionali in materia di agricoltura, foreste, pesca e sviluppo rurale”; Integrazioni alla LR 31/2008: L.R. 26 novembre 2014, n. 30, Regione Lombardia. Disponibile in: www.regione.lombardia.it/wps/wcm/connect/002dc5b2-08f5-4a36-ac9f-64c7eeeb4c32/Guida_lettura_TU_lr31_2008.pdf?MOD=AJPERES&CACHEID=002dc5b2-08f5-4a36-ac9f-64c7eeeb4c32 ; GU: www.gazzettaufficiale.it/eli/gu/2009/05/02/17/s3/pdf

Vulcano G., Ciccarese L. (2018). Spreco alimentare: un approccio sistemico per la prevenzione e la riduzione strutturali, ISPRA – Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale, Rapporti 279/2018, ISBN 978-88-448-0882-2. Disponibile in: www.isprambiente.gov.it/files2019/pubblicazioni/rapporti/RAPPORTOSPRECOALIMENTARE_279_2018.pdf

RACCOMANDAZIONI DI POLICY FORESTE

Si veda la bibliografia del capitolo “Remunerazione dei servizi ecosistemici forniti dalle foreste”

RACCOMANDAZIONI DI POLICY FORSU

Si veda la bibliografia del capitolo “La frazione organica dei rifiuti solidi urbani”

RACCOMANDAZIONI DI POLICY FANGHI DI DEPURAZIONE

Si veda la bibliografia del capitolo “I fanghi di depurazione delle acque reflue”

EMISSIONI ED ASSORBIMENTI DI GAS CLIMALTERANTI

CMCC, ISMEA (2018). Il distretto agricolo-zootecnico-forestale: un nuovo approccio territoriale per la mitigazione dei cambiamenti climatici, Web-tool, Programma “Rete Rurale Nazionale 2014–2020”. Disponibile in: emissionizero.ismea.it/?page_id=130&fe=117,20&a=46,35&ce=10,83&tot=208,25&feb=108,54&febn=105,56&crd=2,98&gd=33,87

Chiriaco M.V., Valentini R. (2021). A land-based approach for climate change mitigation in the livestock sector, CMCC & Università della Tuscia, Journal of Cleaner Production, 283, Elsevier. Disponibile in (abstract): www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652620346667?dgcid=author; articolo completo consultato dopo richiesta agli autori (non disponibile online)

IPCC (2022). Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [P.R. Shukla, J. Skea, R. Slade, A. Al Khourdajie, R. van Diemen, D. McCollum, M. Pathak, S. Some, P. Vyas, R. Fradera, M. Belkacemi, A. Hasija, G. Lisboa, S. Luz, J. Malley, (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA. Disponibile in: www.ipcc.ch/report/ar6/wg3/downloads/report/IPCC_AR6_WGIII_SPM.pdf

ISPRA (2022). Le emissioni di gas serra in Italia alla fine del secondo periodo del Protocollo di Kyoto: obiettivi di riduzione ed efficienza energetica

JRC (2017). IRPP (Intensive Rearing of Poultry or Pigs). Disponibile in: eippcb.jrc.ec.europa.eu/reference/intensive-rearing-poultry-or-pigs-o

Leginio M. et al. (2019) Buone Pratiche sull’uso sostenibile del suolo e delle sue risorse A.1.2- Report del progetto SOIL4LIFE (LIFE17 GIE/IT/000477). Disponibile in (soil4life.eu/wp/wp-content/uploads/2020/01/S4L-Report-A.1.2-final.pdf)

UNFCCC (2015). Accordo di Parigi – Convenzione quadro delle Nazioni Unite sui cambiamenti climatici. Disponibile in eur-lex.europa.eu/content/paris-agreement/paris-agreement.html?locale=it

AGRICOLTURA CONVENZIONALE E BIOLOGICA: PERFORMANCE AMBIENTALI ED ECONOMICO-SOCIALI

Banca dati RICA (Rete d’Informazione Contabile Agricola, EU-RICA)
Il sistema agro-alimentare della Lombardia (Rapporto 2021). Disponibile in www.regione.lombardia.it/wps/portal/istituzionale/HP/DettaglioRedazionale/servizi-e-informazioni/Imprese/Imprese-agricole/ricerca-e-statistiche-in-agricoltura/rapporto-agroalimentare-2021/rapporto-agroalimentare-2021

FAO (2022a). Ex-Ante Carbon-balance Tool | EX-ACT. GUIDELINES. Second edition – Tool version 9, <https://doi.org/10.4060/cc0142en>

FOCUS SUGLI EFFLUENTI DI ALLEVAMENTO

AGRIMONIA (2021-2023). Progetto Agriculture Impact On Italian Air, Università di Bergamo, Leibniz University Hannover, Università degli Studi Milano -Bicocca, Università degli Studi di Torino, finanziato da Fondazione Cariplo. Disponibile in: agrimonia.net/progetto-agrimonia/

Angelino E., Malvestiti G., Marongiu A., Fossati G., Peroni E. (2022). Applicazione della modellistica inversa per la stima del flusso emissivo di ammoniaca in ambito zootecnico, Arpa Lombardia, U.O. Modellistica Qualità dell’Aria e Inventari, Rivista Ingegneria dell’Ambiente, n.1/22. Disponibile in: www.ingegneriadelambiente.net/ojs/index.php/ida/article/view/391/475

ARIMEDA (2022). Riduzione delle emissioni di ammoniaca nell’agricoltura mediterranea attraverso tecniche innovative di fertirrigazione con liquami, progetto LIFE16 ENV/ES/000400. Disponibile in: www.lifearimeda.eu/wp-content/uploads/2022/05/ARIMEDA_PF_IT.pdf

Autorità Ambientale della Regione Lombardia / Poliedra (2021). Rapporto di monitoraggio ambientale del PSR 2014-2020 (esteso al 2022). Disponibile in: www.regione.lombardia.it/wps/wcm/connect/59b8be6b-5779-4131-9492-fc94fd10037/AA_PSR_Monitoraggio_amb_vers_estesa_2021.pdf?MOD=AJPERES&CACHEID=ROOTWORKS_PACE-59b8be6b-5779-4131-9492-4fc94fd10037-nXjjh7A

BAT-Tool Plus (2021), Strumento online per autovalutazione delle emissioni di ammoniaca e gas serra da parte di allevatori che gestiscono aziende zootecniche intensive e possibili riduzioni tramite interventi di mitigazione, Manuale di utilizzo Software BAT-Tool Plus, progetto EU PREPAIR (LIFE 15 IPE IT 013), sviluppato da CRPA per conto della Regione Emilia Romagna. Disponibile in: www.crpa.it/media/documents/crpa_wwww/Software/bat-tool/Manuale_BAT-tool_Plus_rev1.pdf

BEEF CARBON (2016-2021). Demonstration actions to mitigate the carbon footprint of beef production in France, Ireland, Italy and Spain, LIFE14 CCM/FR/001125, (capofila Institut de l’Elevage -IDELE – FR). Disponibile in: lifebeefcarbon.crea.gov.it/

CBPA – Codice di buona pratica agricola (1999). DM 19/04/1999, Ministero delle Politiche Agricole. Disponibile in: www.ersaf.lombardia.it/it/file/2562/20bdb862/CdBPA_225_4002_784_7528.pdf

CleverMilk (2020-2022). Uso intelligente della tecnologia per un latte a basso impatto ambientale, Università degli Studi di Milano – DISAA (Dipartimento di Scienze Agrarie e Ambientali – Produzione, Territorio, Agroenergia), ARAL – Associazione Regionale Allevatori della Lombardia, cofin. Operazione 1.2.01 “Informazione e progetti dimostrativi”, PSR 2014 – 2020, Regione Lombardia. Disponibile in: sites.unimi.it/clevermilk/

Coderoni S., Bonati G. (2013). Impronta carbonica delle aziende agricole italiane, Progetto: SCCAI. Scenari di Cambiamenti Climatici per gli Allevamenti Italiani, INEA, ISBN 978-88-8145-246-0. Disponibile in: www.researchgate.net/profile/Silvia-Coderoni/publication/260025399_IMPRONTA_CARBONICA_AZIENDE_AGRICOLE_ITALIANE/links/02e7e52f20f4cc7cc2000000/IMPRONTA-CARBONICA-AZIENDE-AGRICOLE-ITALIANE.pdf

Commissione Europea (1991). Direttiva Nitrati (91/676/CEE), Direttiva relativa alla protezione delle acque dall'inquinamento provocato dai nitrati provenienti da fonti agricole. Disponibile in: eur-lex.europa.eu/IT/legal-content/summary/fighting-water-pollution-from-agricultural-nitrates.html

Commissione Europea (2017). Decisione di esecuzione (UE) 2017/302, del 15/02/2017, che stabilisce le conclusioni sulle migliori tecniche disponibili (BAT) concernenti l'allevamento intensivo di pollame o di suini, ai sensi della direttiva 2010/75/UE del Parlamento europeo e del Consiglio, C (2017) 688. Disponibile in: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/IT/TXT/?uri=CELEX%3A32017D0302>

CREA (2021). Linee Guida per la riduzione dei gas serra nell'allevamento del bovino da carne, Progetto LIFE BEEF CARBON, a cura di Pirlo G., Migliorati L., Uggeri S., Carè S., Unità di ricerca Zootecnia e acquacoltura. Disponibile in: www.reterurale.it/flex/cm/pages/ServeAttachment.php/L/IT/D/7%252F3%252Fc%252FD_dooceab2dd51855895bb/P/BLOB%3A1D%3D23499/E/pdf

CRPA (2012). Bovini da latte e biogas. Linee Guida per la costruzione e gestione di impianti, Centro Ricerche Produzioni Animali, Reggio Emilia, incarico dalla Dir. Agricoltura, Regione Emilia-Romagna per la conduzione di “Attività di informazione e documentazione sulle opportunità e sulle tecniche da utilizzare nel settore agro-energetico”. Disponibile in: www.crpa.it/media/documents/crpa_www/Pubblicazi/E-book/lineebiogas/Bovini_da_latte_e_biogas.pdf

CRPA (2018). Biogas_N – Sistemi di gestione e valorizzazione delle frazioni azotate nei digestati: valutazione delle tecnologie e bilancio dell'azoto. Disponibile in: https://www.crpa.it/nqcontent.cfm?a_id=18078&tt=crpa_www
Dubini (2022). Gestione efficiente e sostenibile delle colture per un'azienda da latte moderna. Rivista Ruminantia, mensile, 4-22, Ambiente e Management. Disponibile in: ruminantiamese.ruminantia.it/gestione-efficiente-e-sostenibile-delle-colture-per-unazienda-da-latte-moderna/

ERSAF (2019). Rapporto sullo stato dell'arte sull'uso delle matrici organiche in Lombardia-Stato dell'arte, progetto LIFE Soil4Life – Azione B.7 Pilot 2 Mantenimento/ricostituzione della Sostanza organica dei suoli agricoli nella Regione Lombardia, Attività B7.1. Raccolta dati per la realizzazione del Pilot in Regione Lombardia. Disponibile in: soil4life.eu/wp/wp-content/uploads/2020/06/Rapporto-stato-dellarte-uso-matrici-organiche-in-Lombardia.pdf

GeSEFFE (2020). Monitoraggio e gestione degli effluenti in pratica, Progetto Gestione sostenibile ed efficiente degli effluenti di allevamento per la fertilizzazione delle colture – GeSEFFE, Unimi-DISAA, FEASR – Programma di Sviluppo Rurale 2014-2020, Misura 1 – Trasferimento di conoscenze e azioni di informazione, Sottomisura 1.2 – Sostegno a attività dimostrative e azioni di informazione, Operazione 1.2.01 – Progetti dimostrativi e azioni di

informazione Disponibile in: costruzionirurali.unimi.it/wp-content/uploads/report-geseffe_web.pdf

IPCC (2022). Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [P.R. Shukla, J. Skea, R. Slade, A. Al Khourdajie, R. van Diemen, D. McCollum, M. Pathak, S. Some, P. Vyas, R. Fradera, M. Belkacemi, A. Hasija, G. Lisboa, S. Luz, J. Malley, (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA. Disponibile in: https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg3/downloads/report/IPCC_AR6_WGIII_SPM.pdf

Istat (2010). Tema: Applicazione degli effluenti zootecnici, dati-censimentoagricoltura.istat.it/Index.aspx?DataSetCode=DICA_GCSZOO, Estrazioni 10/03/2023 (NB: dati sul tema non ancora disponibili relativamente al 7° Censimento Agricoltura Istat, 2021).

Liva G. (2020). Massa per la Massa. La risposta di Regione Lombardia al reportage di Greenpeace sull'inquinamento da azoto da parte degli allevamenti, Radar Magazine. Disponibile in: www.radarmagazine.net/masse-per-la-massa-il-commento-di-regione-lombardia/

JRC (2017). IRPP (Intensive Rearing of Poultry or Pigs). Disponibile in: eippcb.jrc.ec.europa.eu/reference/intensive-rearing-poultry-or-pigs-o

MIPAF (2016). Linee guida per la riduzione delle emissioni in atmosfera provenienti dalle attività agricole e zootecniche, secondo quanto previsto dall'Art.5, comma 1, lettera b dell'Accordo di programma per l'adozione coordinata e congiunta di misure di risanamento della qualità dell'aria nel Bacino Padano del 19/12/2013. Disponibile in suinicoltura.edagricole.it/wp-content/uploads/sites/19/2016/02/Linee-guida-Mipaaf-17-12-2015-EMISSIONI.pdf

N-Control (2021). Progetto sulla riduzione delle emissioni di gas serra e ammoniacale nella filiera zootecnica, Fondazione Minoprio e CREA, finanziato nell'ambito del PSR 2014-2022 Lombardia. Disponibile in: www.fondazioneminoprio.it/progettielenco/n-control/

PREPAIR (2017-2024). Po Regions Engaged to Policy of Air, Progetto EU LIFE 15IPEIT013, capofila Regione Emilia Romagna e 17 partner (tra cui Regione Lombardia, ARPA, Comune di Milano e FLA). Disponibile in: lifeprepare.eu/index.php/progetto/

Pretolani (2022a). Il Sistema Agroalimentare della Lombardia - Rapporto 2021. Disponibile in: www.regione.lombardia.it/wps/wcm/connect/8192752d-6e36-4e9b-95dd-2931edb82a64/RAA2021+pdf.zip?MOD=AJPERES&CACHEID=ROOTWORKSPACE-8192752d-6e36-4e9b-95dd-2931edb82a64-n-sXnG

PRIA (2018). Piano Regionale Inquinamento Aria, Allegati al Decreto. Disponibili in: www.regione.lombardia.it/wps/wcm/connect/12a852f4-8501-41b5-b80d-32328bff1209/Allegato+1+Aggiornamento+PRIA+2018.pdf?MOD=AJPERES&CACHEID=ROOTWORKSPACE-12a852f4-8501-41b5-b80d-32328bff1209-mlxSact

Provolo G., Sommariva F., Finzi A., Ferrari O. (2020). Indicazioni operative per la gestione dei reflui zootecnici, Progetto Gestione sostenibile ed efficiente degli effluenti di allevamento per la fertilizzazione delle colture – GeSEFFE, Unimi – DISAA, PSR 2015-2020. Disponibile in: costruzionirurali.unimi.it/wp-content/uploads/2020/01/libretto-informativo-Geseffe_compressed.pdf

Regione Lombardia (2020). “Programma d'azione regionale per le zone vulnerabili ai nitrati 2020-2023” (d.g.r. 2893/2020) e Linee guida per le zone non vulnerabili ai nitrati (d.g.r. 3001/2020). Disponibile in: www.regione.lombardia.it/wps/wcm/connect/7a859a83-60c5-4457-a64f-af73213fe8bo/Burl+n.+10+di+venerd%C3%AC+6+ma

[rzo+2020+-+dgr+2+marzo+2020+n.+2893+-+approvazione+progreamma+azione+regionale+protezione+acque+inquinamento+provocato+da+nitrati.pdf?MOD=AJPERES&CACHEID=ROOTWORKSPACE-7a859a83-60c5-4457-a64f-af73213fe8bo-n-s6Yrb](#)

Regione Lombardia (2022a), All. 5 alla VAS del PREAC – Osservazioni pervenute da parte dell'Osservatorio regionale per l'economia circolare e la transizione energetica nella fase di redazione del PREAC e del Rapporto Ambientale. Disponibile in: [www.regione.lombardia.it/wps/wcm/connect/913f9f80-5008-44bb-ad18-87a05136fb48/Rapporto+Ambientale+e+suoi+allegati.zip?MOD=AJPERES&CACHEID=ROOTWORKSPACE-913f9f80-5008-44bb-ad18-87a05136fb48-okKGoPl](#)

Regione Lombardia (2022b). Complemento regionale per lo Sviluppo Rurale del Piano Strategico Nazionale (PSN) PAC 2023/2027. D.g.r. 21 novembre 2022 – n. XI/7370. Disponibile in: [www.psr.regione.lombardia.it/wps/wcm/connect/a4f2869d-a9d0-4564-bb12-6ceae7fa127f/ALLEGATO+A.pdf?MOD=AJPERES&CONVERTTO=url&CACHEID=ROOTWORKSPACE-a4f2869d-a9d0-4564-bb12-6ceae7fa127f-ooX1NKw](#)

REMUNERAZIONE DEI SERVIZI ECOSISTEMICI FORNITI DALLE FORESTE

Burkhard B, Kandziora M, Hou Y, Müller F. Ecosystem service potentials, flows and demands-concepts for spatial localisation, indication and quantification. Landscape Online, 2014, 34. 1-32. [doi.org/10.3097/llo.201434](#).

Burkhard B., de Groot R., Costanza R., Seppelt R., Jørgensen S.E., Potschin M. (2012a), Solutions for sustaining Natural capital and ecosystem services, Ecol. Indic. 21, 1–6.

Burkhard B, Kroll F, Nedkov S, Müller F. Mapping ecosystem service supply, demand and budgets. Ecological Indicators, (2012b), 21. 17-29. [doi.org/10.1016/j.ecolind.2011.06.019](#) 16.

Burkhard B., Kroll F., Muller F., Windhorst W. (2009), Landscapes' capacity to provide ecosystem services: a concept for land cover based assessments, Landscape online 15, 1–22.

Costanza, R., Folke, C., 1997. Valuing Ecosystem Services with Efficiency, Fairness and Sustainability as Goals. In: Daily, G.C. (Ed.), Nature's Services: Societal Dependence on Natural Ecosystems. Island Press, Washington, DC, pp. 49–70.

Costanza R., de Groot R., Sutton P., van der Ploeg S., Anderson S.J., Kubiszewski I., Farber S., Turner R.K., Changes in the global value of ecosystem services, Global Environmental Change, Volume 26, 2014, Pages 152-158, ISSN 0959-3780, [doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2014.04.002](#)

Costanza, R., d'Arge, R., de Groot, R., Farber, S., Grasso, M., Hannon, B., et al., 1997. The value of the world's ecosystem services and natural capital. Nature 387, 253–260.

Gaglioppa P. e D. Marino; (a cura di) “MANUALE PER LA VALUTAZIONE DEI SERVIZI ECOSISTEMICI E L'IMPLEMENTAZIONE DEI PES NELLE AREE AGROFORESTALI - Applicazione del modello di governance “Making good nature” nei siti natura 2000 ; (e non solo)” di Pierluca Gaglioppa, Ambra Forconi, Angelo Marucci, Davide Pellegrino, Margherita Palmieri, Rossella Guadagno, Davide Marino, Stefano Picchi, Natalia Marzia Gusmerotti, Alessandra Borghini, Catie Burlando, Nathan Deutsch, Caterina Caraucasi, Franco Ferroni, Luigi Agresti, Uta Schirpke, Rocco Scolozzi - CURSA, Roma, pp. 178. ISBN 88-942272-D-o

Geri F., Giordano M., Nucci A., Rocchini D., Chiarucci A., 2008 - Analisi multitemporale del paesaggio forestale della Provincia di Siena mediante l'utilizzo di cartografie storiche. Forest@ - Journal of Silviculture and Forest

Ecology, 5 (1): 82-91. [dx.doi.org/10.3832/eforo508-0050082](#)

Gaglioppa P., (a cura di) Applicazione del modello dimostrativo di valutazione qualitativa e quantitativa dei servizi ecosistemici nei siti ERSAF (LIFE+11 ENV/IT/000168), Report dell'azione B 5 con contributi di P. Gaglioppa, A. Forconi, A. Marucci, D. Pellegrino, M. Palmieri, R. Guadagno, D. Marino, S. Picchi, N. M. Gusmerotti, A. Borghini, F. Ferroni, R. Venezia, U. Schirpke, R. Scolozzi, B. Concetti, B. Comini, E. Calvo, I. Buzzetti, G. Davini, A. Rapella; P. Nastasio, B. Piccardi, G. Fracassi, R. Da Re, D. Gallo, M. Masiero, G. Pasini, R. Santolini, E. Morri - CURSA, Roma, pp. 281

Guo Y., Zheng H., Wu T., Wu J., Robinson B.E, A review of spatial targeting methods of payment for ecosystem services, Geography and Sustainability, Volume 1, Issue 2, 2020, Pages 132-140, ISSN 2666-6839, [doi.org/10.1016/j.geosus.2020.04.001](#).

Haines-Young, R., & Potschin, M. (2010). The links between biodiversity, ecosystem services and human well-being. Ecosystem Ecology: a new synthesis, 1, 110-139.

Holzwarth, S.; Thonfeld, F.; Abdullahi, S.; Asam, S.; Da Ponte Canova, E.; Gessner, U.; Huth, J.; Kraus, T.; Leutner, B.; Kuenzer, C. Earth Observation Based Monitoring of Forests in Germany: A Review. Remote Sens.2020, 12, 3570. [doi.org/10.3390/rs12213570](#)

Marino D., Palmieri M. (2017), Investing in nature: working with public expenditure and private payments for a new governance model, In: Paracchini M.L., Zingari P.C., Blasi C., a cura di, Re-connecting Natural and Cultural Capital Contributions from Science and Policy, Publisher: Office of Publications of the European Union, 2016 Marino D., Schirpke U., Gaglioppa P., Guadagno R., Marucci A., Palmieri M., Pellegrino D., Comini B., Concetti B. (2015), “Stima dei Servizi Ecosistemici forniti dalle foreste italiane: primi risultati del progetto LIFE+ Making Good Natura”. In: Atti del II Congresso Internazionale di Selvicoltura. Progettare il futuro per il settore forestale, Firenze, 26-29 novembre 2014. Firenze: Accademia Italiana di Scienze Forestali. Vol. 1, p. 545-550. ISBN 978-88-87553-21-5. [dx.doi.org/10.4129/2cis-dm-sti](#)

Metzger M.J., Rounsevell M.D.A., Acosta-Michlik L., Leemans R., Schröter D., 2006 - The vulnerability of ecosystem services to land use change. Agriculture, Ecosystems & Environment, 114 (1): 69-85. [dx.doi.org/10.1016/j.agee.2005.11.025](#)

Nieto-Romero, M.; Oteros-Rozas, E.; González, J.A.; Martín-López, B. Exploring the knowledge landscape of ecosystem services assessments in Mediterranean agroecosystems: Insights for future research. Environ. Sci. Policy 2014, 37, 121–133.

Pohjanmies, T.; Triviño, M.; Le Tortorec, E.; Mazziotta, A.; Snäll, T.; Mönkkönen, M. Impacts of forestry on boreal forests: An ecosystem services perspective. Ambio 2017, 46, 743–755

INQUADRAMENTO DEL SETTORE AGRO-ZOOTECNICO LOMBARDO

Bini, Zanolin (2020). The DAM (Distretto Agricolo Milanese) and the Metropolitan System of Agricultural Districts, progetto URBAL, Ufil Report, Està - Università degli Studi di Milano. www.urbalfood.org/case_studies/distretto-agricolo-milano/

Coldiretti (2020). L'agricoltura italiana in numeri. Disponibile in: https://www.terrainnova.it/wp-content/uploads/sites/3/2020/05/REPORT-FINALE_LAgricoltura-italiana-in-numeri-1.pdf

Crea (2021). L'agricoltura italiana conta 2021. Disponibile in: <https://www.crea.gov.it/web/politiche-e-bioeconomia/-/9%C3%88-on-line-l-agricoltura-italiana-counta-2021>

Lassini (2019). Presentazione Regione Lombardia “Milano Metropoli Rurale, un accordo e una strategia per lo sviluppo sostenibile dell’area metropolitana. Nuovi scenari agroambientali e nuove partnership per rafforzare la matrice rurale della pianura irrigua milanese”, 2019, www.ersaf.lombardia.it/it/file/4676/25be589a/CdL+E+-+Milano+Metropoli+Rurale+-+Rossi+-+Lassini.pdf

Lucini (2020). Superfici fondiari e cascine di proprietà pubblica, Ufficio Agricoltura (Comune di Milano), Winter School sulle Food Policy per le città lombarde, Toolkit, toolkit.foodpolicymilano.org/toolkit/superfici-fondiari-e-cascine-di-proprieta-pubblica-marco-lucini/.

Pretolani (2022a). Il Sistema Agroalimentare della Lombardia - Rapporto 2021. Disponibile in: www.regione.lombardia.it/wps/wcm/connect/8192752d-6e36-4e9b-95dd-2931edb82a64/RAA2021+pdf.zip?MOD=AJPERES&CACHEID=ROOTWORKSPACE-8192752d-6e36-4e9b-95dd-2931edb82a64-n-sXnG2

Pretolani (2022b). Presentazione Intervento: Quale ripartenza? Prime stime dei risultati dell’annata agraria 2021, a cura di Pretolani R., Università degli Studi di Milano, Convegno: Il sistema agro-alimentare lombardo. L’andamento del comparto agricolo lombardo nel 2° semestre 2021 e le prime valutazioni dei risultati dell’annata agraria 2021, Brescia, 10 marzo 2022. Disponibile in: www.regione.lombardia.it/wps/wcm/connect/e75d5aa3-2eb7-4d35-a38a-a0663f7386db/PROF.PRETOLANI_Presentazione_10-03-2022_2.pdf?MOD=AJPERES&CACHEID=ROOTWORKSPACE-e75d5aa3-2eb7-4d35-a38a-a0663f7386db-n-sXnyM

PSR 2014-2020. Regione Lombardia. Disponibile in: www.psr.regione.lombardia.it/wps/wcm/connect/e851d7ea-6ce2-4447-93bd-05f2d79b8951/PSR+V+10.pdf?MOD=AJPERES&CONVERT_TO=url&CACHEID=ROOTWORKSPACE-e851d7ea-6ce2-4447-93bd-05f2d79b8951-nU24ufR

Sinab, 2020, Bio in cifre 2020. Disponibile in: www.sinab.it/sites/default/files/share/BIO%20IN%20CIFRE%202020.pdf

Toccolini, A. Sali, G. (2020). L’istituzione di aree a parco naturale all’interno del Parco Agricolo Sud Milano. Aspetti socio-economici”. Università degli Studi di Milano, Dipartimento di scienze agrarie e ambientali.

INQUADRAMENTO SULLO STATO DELLE FORESTE

ERSAF (2021). Rapporto sullo stato delle foreste in Lombardia 2020. Disponibile in: www.ersaf.lombardia.it/it/

[servizi-alle-filiere/foreste-legno/rapporto-stato-delle-foreste \(03/11/2022\)](#)

ESTà (2023). Alpine Space Project, AlpGov2. Recommendations for strengthening local wood supply chains. Governance analysis, literature review and the opinion of key stakeholders. Disponibile in assesta.it/new-site/wp-content/uploads/2023/02/AlpGov2-wood-supply-chain-2023-affiancate.pdf

Eurostat (2020). Agriculture, forestry and fishery statistics. 2020 edition. Disponibile in: [ec.europa.eu/eurostat/web/products-statistical-books/-/ks-fk-20-001 \(02/11/2022\)](http://ec.europa.eu/eurostat/web/products-statistical-books/-/ks-fk-20-001 (02/11/2022))

FAO (2020). Global Forest Resources Assessment (FRA) 2020. Disponibile in: [www.fao.org/3/ca9825en/ca9825en.pdf \(02/11/2022\)](http://www.fao.org/3/ca9825en/ca9825en.pdf (02/11/2022))

Gasparini, P., Di Cosmo L. (2022). Italian National Forest Inventory—Methods and Results of the Third Survey. Springer. Disponibile in: link.springer.com/book/10.1007/978-3-030-98678-0

Geoportale della Lombardia, Dati. Carta forestale. Disponibile in: [www.geoportale.regione.lombardia.it/download-ricerca \(03/11/2022\)](http://www.geoportale.regione.lombardia.it/download-ricerca (03/11/2022)).

INFC (2005). IL CONTENUTO DI CARBONIO DELLE FORESTE ITALIANE. METODI E RISULTATI DELL'INDAGINE INTEGRATIVA. Inventario Nazionale delle Foreste e dei serbatoi forestali di Carbonio - www.crea.gov.it/documents/64333/0/2013_Gasparini+et+al_eds_Volume+INFC-fase3%2B.pdf/28b4fcf6-1a9d-acf3-1b87-5f14b09d393f?version=1.0&t=1577089430372&download=true

INFC (2015). Terzo Inventario Forestale Nazionale. Disponibile in: [www.sian.it/inventarioforestale/jsp/documentazione.jsp \(02/11/2022\)](http://www.sian.it/inventarioforestale/jsp/documentazione.jsp (02/11/2022))

ISPRA (2022). Le emissioni di gas serra in Italia alla fine del secondo periodo del Protocollo di Kyoto: obiettivi di riduzione ed efficienza energetica. Disponibile in: [www.isprambiente.gov.it/it/pubblicazioni/rapporti/le-emissioni-di-gas-serra-in-italia-alla-fine-del-secondo-periodo-del-protocollo-di-kyoto \(02/11/2022\)](http://www.isprambiente.gov.it/it/pubblicazioni/rapporti/le-emissioni-di-gas-serra-in-italia-alla-fine-del-secondo-periodo-del-protocollo-di-kyoto (02/11/2022))

MEA (2005). Millennium Ecosystem Assessment, 2005. Ecosystems and Human Well-being: Synthesis Island Press, Washington, DC. Disponibile in: [www.millenniumassessment.org/documents/document.356.aspx.pdf. \(02/11/2022\)](http://www.millenniumassessment.org/documents/document.356.aspx.pdf. (02/11/2022))

Pompei (2017). Consistenza e monitoraggio del patrimonio forestale in Italia. Convegno La montagna italiana nello sviluppo rurale problematiche e prospettive economiche, sociali, ambientali e istituzionali www.georgofili.it/uploaded/1831.pdf

RAF ITALIA (2017-18). Rapporto sullo stato delle foreste e del settore forestale in Italia 2017-18 www.reterurale.it/flex/cm/pages/ServeBLOB.php/L/IT/IDPagina/19231

SNPA (2022). Report n. 32/2022 Consumo di suolo, dinamiche territoriali e servizi ecosistemici. Disponibile in: [www.snpambiente.it/2022/07/26/consumo-di-suolo-dinamiche-territoriali-e-servizi-ecosistemici-edizione-2022/\(02/11/2022\)](http://www.snpambiente.it/2022/07/26/consumo-di-suolo-dinamiche-territoriali-e-servizi-ecosistemici-edizione-2022/(02/11/2022))

MAPPA DELLE RICERCHE

Produzione agricola

A.A.V.V. (2013). Il ruolo dell'agricoltura conservativa nel bilancio del carbonio. AgriCO2ltura. Quaderni della Ricerca n. 153 – giugno 2013. Disponibile www.ersaf.lombardia.it/it/progetti/agrico2ltura

Bacenetti, J., Fusi, A., Negri, M., Bocchi, S., Fiala, M. (2016). Organic production systems: sustainability assessment of rice in Italy. Agric. Ecosyst. Environ, 225: 33–44.

Ballarin Denti A., Giannella S., Lapi M. (2008). Progetto Kyoto Lombardia. Regione Lombardia – Fondazione Lombardia per l'Ambiente: 79-110 Bellieni M., Brenna S. Caserini S., Acutis M., Perego A., Schillaci C., Farina R., Miglietta F., Vitullo M. (2017) Il contributo dello stoccaggio di carbonio nei suoli agricoli alla mitigazione del cambiamento climatico. Ingegneria dell'Ambiente, Vol. 4, n. 2.

Blengini, G.A., Busto, M. (2009). The life cycle of rice: LCA of alternative agri-food chain management systems in Vercelli (Italy). J. Environ. Manag, 90 (3): 1512–1522.

Ciccarese, L., Detti, G., Daffinà, R., Silli, V. (2019). Dall'agricoltura biologica un aiuto per il clima. Ecoscienza numero3, anno 2019.

Coderoni S., Binati G. (2013). L'impronta Carbonica delle Aziende Agricole Italiane. INEA
Coderoni, S. e Vitullo, M. (2018). L'agricoltura e le foreste italiane nel quadro delle politiche di riduzione delle emissioni di gas serra: aggiornamenti normativi e questioni aperte. Agriregionieuropa anno 14 N° 54.

Eshun, J.F., Apori, S.O., Wereko, E. (2013). Greenhouse gaseous emission and energy analysis in rice production systems in Ghana. Afr. Crop. Sci. J., 21 (2): 119–126.

Frascarelli A., Baldelli M., Ciliberti S., Meo R., Ventura F. (2021). La redditività delle aziende biologiche. Analisi del campione RICA. Rete Rurale Nazionale

Fusi, A., Bacenetti, J., González-García, S., Vercesi, A., Bocchi, S., Fiala, M. (2014). Environmental profile of paddy rice cultivation with different straw management. Science of Total Environment, 494: 119–128.

Fusi A., Gonzales-Garcia S., Moreira M.T., Fiala M., Becenetti J. (2017). Rice fertilised with urban sewage sludge and possible mitigation strategies: an environmental assessment. Journal of Cleaner Production, 140: 914–923.

Leip, A., Bocchi, S., 2007. Contribution of rice production to greenhouse gas emission in Europe. In: Bocchi, S., Ferrero, A., Porro, A. (Eds.), Proceedings of the Fourth Temperate Rice Conference. 25-28 June 2007, Novara, Italy.

Rodale Institute (2011), The farming systems trial. Celebrating 30 years

Rodale Institute (2020), Regenerative agriculture and the soil carbon solution
Schrama, M.; de Haan, J.J., Kroonend, M., Verstegend, H., Van der Putten, W.H., (2018). Crop yield gap and stability in organic and conventional farming systems. Agriculture, Ecosystems and Environment 256 (2018) 123–130.
Smith, P., Martino, D., Cai, Z., Gwary, D., Janzen, H., Kumar, P., McCarl, B., Ogle, S., O'Mara, F., Rice, C., Scholes, B., Sirotenko, O., Howden, M., McAllister, T., Pan, G., Romanenkov, V., Schneider, U., Towprayoon, S., Wattenbach, M., & Smith, J. (2008). Greenhouse gas mitigation in agriculture. Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B: Biological sciences, 363 (1492): 789-813.

Valli L., Pignedoli S., Pacchioli M.T. (2013). Emissioni in atmosfera. L'impronta che non si vede.

Yoo, S.H., Choi, J.Y., Lee, S.H., Kim, T. (2014). Estimating water footprint of paddy rice in Korea. Paddy Water Environ., 12 (1): 43–54.

Zoli M., Paleari L., Confalonieri R., Bacenetti J. (2021). Setting-up of different water managements as mitigation strategy of the environmental impact of paddy rice. Science of the Total Environment, 799, 149365.

Produzione zootecnica

Arfini F., De Roest K., Belletti G., Menozzi D. (2016). La sostenibilità del prosciutto crudo in Italia: tra filiere locali e globali. Agriregionieuropa anno 12 n°44. Disponibile in: agriregionieuropa.univpm.it/it/content/article/31/44/la-sostenibilita-del-prosciutto-crudo-italia-tra-filiere-locali-e-globali#footnote4_psha3ab.

BAT-Tool Plus (2021), Strumento online per autovalutazione delle emissioni di ammoniaca e gas serra da parte di allevatori che gestiscono aziende zootecniche intensive e possibili riduzioni tramite interventi di mitigazione, Manuale di utilizzo Software BAT-Tool Plus, progetto EU PREPAIR (LIFE 15 IPE IT 013), sviluppato da CRPA per conto della Regione Emilia Romagna. Disponibile in: www.crpa.it/media/documents/crpa_www/Software/bat-tool/Manuale_BAT-tool_Plus_rev1.pdf.

Bava, L., Sandrucci, A., Tamburini, A., Zucali, M., (2017a). Sostenibilità ambientale delle produzioni animali: la produzione della carne. Presentazione, Università degli Studi di Milano, Dipartimento Scienze Agrarie e Ambientali. Produzione, Territorio, Agroenergia. DiSAA - Agri Food Chains LCA – LAB. Disponibile in: sites.unimi.it/agrifood_lcalab/wp-content/uploads/2017/01/Bava-LCA-agrifood-2017.pdf.

Bava L., Zucali Z., Sandrucci A., Tamburini A. (2017b). Environmental impact of the typical heavy pig production in Italy. Journal of Cleaner production, doi:10.1016/j.jclepro.2015.11.029. Disponibile in: core.ac.uk/download/pdf/187952948.pdf.

BEEF CARBON (2016-2021). Demonstration actions to mitigate the carbon footprint of beef production in France, Ireland, Italy and Spain, LIFE14 CCM/FR/001125, (capofila Institut de l'Elevage -IDELE – FR). Disponibile in: lifebeefcarbon.crea.gov.it/.

Bertolini R. (2021). Come ridurre le emissioni di gas dalle stalle al latte, Il Nuovo Agricoltore, 9/06/2021. Disponibile in: www.ilnuovoagricoltore.it/come-ridurre-le-emissioni-di-gas-dalle-stalle-al-latte/.

Brunori G., Galli F., Barjolle D., van Broekhuizen R., Colombo L., Giampietro M., Kirwan J., Lang T., Mathijs E., Maye D., de Roest K., Rougoor C., Schwarz J., Schmitt E., Smith J., Stojanovic Z., Tisenkopfs T. e Touzard J., (2016). Are Local Food Chains More Sustainable than Global Food Chains? Considerations for Assessment. Sustainability – MDPI, 8 (5) 449. Disponibile in: www.researchgate.net/publication/301956259_Are_Local_Food_Chains_More_Sustainable_than_Global_Food_Chains_Considerations_for_Assessment.

Ciriaco M.V., Valentini R. (2021). A land-based approach for climate change mitigation in the livestock sector, CMCC & Università della Tuscia, Journal of Cleaner Production, 283, Elsevier. Disponibile in (abstract): www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652620346667?dgcid=author; articolo completo consultato dopo richiesta agli autori.

Clevermilk (2020-2022). Uso intelligente della tecnologia per un latte a basso impatto ambientale, Università degli Studi di Milano – DISAA (Dipartimento di Scienze Agrarie e Ambientali - Produzione, Territorio,

Agroenergia), ARAL – Associazione Regionale Allevatori della Lombardia, cofin. Operazione 1.2.01 “Informazione e progetti dimostrativi”, PSR 2014 – 2020, Regione Lombardia. Disponibile in: ites.unimi.it/clevermilk/.

Commissione Europea (2022). Proposta di Direttiva del Parlamento Europeo e del Consiglio che modifica la Direttiva 2010/75/UE del Parlamento Europeo e del Consiglio sulle emissioni industriali (prevenzione e riduzione integrate dell'inquinamento) e la Direttiva 1999/31/CE del Consiglio sulla discarica di rifiuti, COM (2022) 156. Disponibile in: eur-lex.europa.eu/legal-content/IT/TXT/?uri=CELEX%3A52022PC0156&qid=1649770538066.

CREA (2021). Linee Guida per la riduzione dei gas serra nell'allevamento del bovino da carne, Progetto di ricerca LIFE BEEF CARBON, a cura di Pirlo G., Migliorati L., Uggeri S., Carè S., Unità di ricerca Zootecnia e acquacoltura. Disponibile in: www.reterurale.it/flex/cm/pages/ServeAttachment.php/L/IT/D/7%252F3%252Fc%252FD.doocceab2dd51855895bb/P/BLOB%3AID%3D23499/E/pdf.

CRPA (2020). Progetto Forage4Climate – Forage System. For less GHG emission and more soil carbon sink in continental and mediterranean agricultural areas, LIFE15 CCM/IT/000039. Risultati – Leyman's Report. Disponibile in: forage4climate.crpa.it/nqcontent.cfm?a_id=21793&lang=it.

CRPA (2021). Relazione tecnica finale del progetto Milkgas - Strumenti di valutazione delle azioni di riduzione delle emissioni negli allevamenti bovini da latte, Progetti per l'Innovazione – PEI, Regione Emilia Romagna, a cura di P. Rossi. Disponibile in: agricoltura.regione.emilia-romagna.it/progetti-innovazione/raccolta-progetti-innovazione/qualita-aria/relazioni-5d-2017/milkgas-relazione-tecnica-finale-allegato.pdf/@download/file/MilkGas%20-%20Relazione%20tecnica%20finale%20+-%20allegato.pdf.

FAO (2013-2018). GLEAM (Global Livestock Environmental Assessment), Roma. Disponibile in: www.fao.org/gleam/en/#:~:text=The%20Global%20Livestock%20Environmental%20Assessment,a%20life%20cycle%20assessment%20approach e risultati in: <https://www.fao.org/gleam/results/en/>

FAO (2018). GLEAM 2.0 (Global Livestock Environmental Assessment), Roma. Disponibile in: www.fao.org/fileadmin/user_upload/gleam/docs/GLEAM_2.0_Model_description.pdf e www.fao.org/fileadmin/user_upload/gleam/docs/GLEAM_2.0_Supplement_S1.xlsx.

FAO (2021). Guida all'utilizzo del webtool - Global Livestock Environmental Assessment Model – Interactive (GLEAM-i), Guidelines, Version 1.9, Roma. Disponibile in: www.fao.org/3/cb2249en/cb2249en.pdf.

GLAMUR (2013-2016). Global and Local food chain Assessment: a MULTidimensional performance-based approach, Presentazione e sintesi dei risultati, 7° Programma Quadro EU. Disponibile in: cordis.europa.eu/project/id/311778/it.

Glossario PAC. Unità di Bestiame Adulto (UBA), Agriregionieuropa. Disponibile in: agriregionieuropa.univpm.it/en/views/glossario_pac/Unit%C3%A0%20di%20bestiame%20adulto%20%28Uba%29.

Hammer T. J., Fierer N., Hardwick B., Simojoki A., Slade E., Taponen J., Viljanen H. e Roslin T. (2016). Treating cattle with antibiotics affects greenhouse gas emissions, and microbiota in dung and dung beetles. Proceedings of the Royal Society B. 283. Disponibile in: royalsocietypublishing.org/doi/10.1098/rspb.2016.0150.

IPCC (2006a). IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. In: Agriculture, Forestry and Other Land Use (AFOLU), vol. 4, Chapter 10: Emissions from livestock and manure management. Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme, Eggleston H.S., Buendia L., Miwa K., Ngara T. and Tanabe K. (eds).

Published: IGES, Japan. Disponibile in: www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/4_Volume4/V4_10_Ch10_Livestock.pdf.

IPCC (2006b). IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. In: Agriculture, Forestry and Other Land Use, vol. 4, Chapter 11: N2O emissions from managed soils, and CO2 emissions from lime and urea application. Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme, Eggleston H.S., Buendia L., Miwa K., Ngara T. and Tanabe K. (eds). Published: IGES, Japan. Disponibile in: www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/4_Volume4/V4_11_Ch11_N2O&CO2.pdf.

ISPRA/ SNPA (2021). Transizione ecologica aperta, Roma. Disponibile in: annuario.isprambiente.it/sites/default/files/pdf/2021/TEA.pdf.

Milkgas (2017-2020). Strumenti di valutazione delle azioni di riduzione delle emissioni negli allevamenti bovini da latte, GOI (Gruppo Operativo per l'Innovazione), Regione Emilia-Romagna, Misura 16.1.01, PSR 2014-2020. Scheda progetto disponibile in: www.innovarurale.it/it/pei-agri/gruppi-operativi/bancadati-go-pei/strumenti-di-valutazione-delle-azioni-di-riduzione-delle e Sito internet del progetto disponibile in: milkgas.crpa.it/nqcontent.cfm?a_id=16495.

Oostindie H., van Broekhuizen R., de Roest K., Belletti G., Arfini F., Menozzi D., Hees E. (2016). Sense and Non-Sense of Local–Global Food Chain Comparison, Empirical Evidence from Dutch and Italian Pork Case Studies, Rivista: Sustainability, 8, 319. Disponibile in: www.mdpi.com/2071-1050/8/4/319/htm.

Pretolani R. (2022). Quale ripartenza? Prime stime dei risultati dell'annata agraria 2021, presentazione al Convegno: Il sistema agro-alimentare lombardo. L'andamento del comparto agricolo lombardo nel 2° semestre 2021 e le prime valutazioni dei risultati dell'annata agraria 2021, Brescia (05/2022), Università degli Studi di Milano. Disponibile in: www.regione.lombardia.it/wps/wcm/connect/e75d5aa3-2eb7-4d35-a38a-a0663f7386db/PROF.PRETOLANI_Presentazione_10-03-2022_2.pdf?MOD=AJPERES&CACHEID=ROOTWORKSPACE-e75d5aa3-2eb7-4d35-a38a-a0663f7386db-n-sXnyM.

Valli L. (2021). Le emissioni dagli allevamenti bovini: uno strumento di valutazione, CRPA, Presentazione, Convegno finale progetto Milkgas. Disponibile in: www.innovarurale.it/it/file-download/download/public/4419.

Forestazione

Colombo R., Migliavacca M., Busetto L., Meroni M., (2009). Modelling carbon cycle of agro-forest ecosystems in Lombardy (Italy). Forest - Rivista di Selvicoltura ed Ecologia Forestale

Nonni L., Fiala M., (2019) Estimation of carbon storage of forest biomass for voluntary carbon markets: preliminary results. Journal of Forestry Research

Ossola A., Brusa G., Pierce S., Cerabolini B., (2007). Valutazione del ruolo dei Parchi lombardi ai fini del sequestro di carbonio. Informatore Botanico Italiano

Pilli R., Vizzarri G., Chirici G., (2021). Combined effects of natural disturbances and management on forest carbon sequestration: the case of Vaia storm in Italy. Annals of Forest Science

Fiorese G., Guariso G., (2010). Sustainable forest management for bioenergy. International Congress on Environmental Modelling and Software Modelling for Environment's Sake, Fifth Biennial Meeting, Ottawa,

Canada

Granata M., Gratani L., Bracco F., Catoni R., (2018). Carbon dioxide sequestration capability of an unmanaged old-growth broadleaf deciduous forest in a Strict Nature Reserve. Journal of Sustainable Forestry

Yongbin Meng, Yuanyuan Zhang, Chunxu Li, Zichun Wang, and Yaoliang Li (2022). The Effect of Thinning Management on the Carbon Density of the Tree Layers in Larch–Birch Mixed Natural Secondary Forests of the Greater Khingan Range, Northeastern China. Forests

Ruiz-Peinado R., Bravo-Oviedo A., López-Senespleda E., Bravo F., Del Rio M., (2017). Forest management and carbon sequestration in the Mediterranean region: A review. Forest Systems, 2017

IL RIUTILIZZO DEI RIFIUTI ORGANICI DELLA CITTÀ (FORSUE FANGHI)

Adani (2022). Fanghi biologici e Economia Circolare. Intervento al convegno La sostenibilità dei fanghi biologici in agricoltura nell'era dell'economia circolare e della resilienza. Milano, 26 maggio 2022

CEN (2022). 4° Rapporto sull'Economia Circolare del CEN – Circular Economy Network
circulareconomy.network.it/wp-content/uploads/2022/04/Rapporto-sulleconomia-circolare-2022-CEN.pdf

Centemero M. (2022). Biowaste pilastro della transizione ecologica. Organic Biorecycling 2022. A cura di M, Centemero. Edizioni Ambiente, 2022

Ciavatta (2022). (Bio)Economia Circolare: contributo essenziale per la fertilità dei suoli e la sicurezza alimentare. Intervento al convegno Intervento al convegno La sostenibilità nel recupero dei fanghi biologici in agricoltura. Milano, 14 ottobre 2022

ESTà (2020). Economia circolare del cibo a Milano. Disponibile in assesta.it/new-site/wp-content/uploads/2020/10/Economia-Circolare-pag-affiancate-15_10_2020.pdf

Soil4life (2019). Rapporto sull'uso delle matrici organiche in Lombardia. Stato dell'arte. Disponibile in soil4life.eu/wp/wp-content/uploads/2020/06/Rapporto-stato-dellarte-uso-matrici-organiche-in-Lombardia.pdf

LA FRAZIONE ORGANICA DEI RIFIUTI SOLIDI URBANI

Arpa Lombardia (2022). Relazione sulla Produzione e Gestione dei Rifiuti in Regione Lombardia. Parte 1 – Rifiuti urbani dati 2020. Disponibile in portali.arpalombardia.it/rifiuti/grul/estrattoGRUL2020/RelazioneRegione_RifiutiUrbani2020.pdf

Centemero M. (2021). Biowaste tra ripresa e resilienza. Organic Biorecycling 2022. A cura di M, Centemero. Edizioni Ambiente, 2021

Centemero M. (2022). Biowaste pilastro della transizione ecologica. Organic Biorecycling 2022. A cura di M, Centemero. Edizioni Ambiente, 2022

Corte dei Conti (2021). Rapporto 2021 sul coordinamento della finanza pubblica. Disponibile in: www.corteconti.it/Download?id=867011ba-87e4-4e6b-8338-dd4874ffb039

ECN (2022). ECN Data Report 2022. Compost and digestate for a circular bioeconomy. Overview of biowaste collection, treatment and markets across Europe.

ISPRA (2020) Catasto Nazionale Rifiuti Urbani [Dataset]. ISPRA 2020. Disponibile in: www.catasto-rifiuti.isprambiente.it/index.php?pg=ru&width=1920&height=1080

ISPRA (2021), Rapporto Rifiuti Urbani. Edizione 2021. Disponibile in www.isprambiente.gov.it/files2022/pubblicazioni/rapporti/rapportorifiutiurbani_ed-2021-n-355-conappendice_agg18_01_2022.pdf

PRGR (2022). Programma Regionale di Gestione dei Rifiuti. Piano verso l'economia circolare. Relazione di Piano. Disponibile in www.regione.lombardia.it/wps/wcm/connect/1c55c743-7f9a-4f49-bab3-e8bod9b33315/2_PRGR-relazione+di+piano.pdf?MOD=AJPERES&CACHEID=ROOTWORKSPACE-1c55c743-7f9a-4f49-bab3-e8bod9b33315-o44kQor

I FANGHI DI DEPURAZIONE DELLE ACQUE REFLUE

Althesys (2022). L'industria idrica e le sfide dell'economia circolare. La gestione sostenibile dei fanghi di depurazione. Una sintesi disponibile in www.rinnovabili.it/economia-circolare/riciclo/strategia-nazionale-fanghi-di-depurazione/

ARERA (2014). Documento per la consultazione 299/2014/R/ IDR. Definizione delle tariffe di collettamento e depurazione dei reflui industriali autorizzati in pubblica fognatura Inquadramento generale e linee di intervento. Disponibile in: www.arera.it/%20allegati/docs/14/299-14.pdf

ARERA (2019). Relazione annuale. Stato dei servizi. Volume 1. Disponibile in https://www.arera.it/allegati/relaz_ann/19/RA19_volume1.pdf

ARERA (2021). Relazione annuale. Stato dei servizi 2020. Disponibile in www.arera.it/allegati/relaz_ann/21/RA21_volume_1.pdf

ARPA Lombardia (2022). Relazione Produzione e Gestione dei Rifiuti in Regione Lombardia. Parte 2 rifiuti speciali. CAP (2021). DNF - Bilancio di sostenibilità 2021. Disponibile in www.gruppocap.it/it/sviluppo-e-sostenibilita/sostenibilita/bilancio-di-sostenibilita

Clarke B.O., Smith S.R. (2011). Review of 'emerging' organic contaminants in biosolids and assessment of international research priorities for the agricultural use of biosolids. Environment International, 37(1): 226–247.

EEA (2022). Beyond water quality. Sewage treatment in a circular economy. Disponibile in www.eea.europa.eu/publications/beyond-water-quality-sewage-treatment

Domini M., Abbà A., Bertanza G. Analysis of the variation of costs for sewage sludge transport, recovery and disposal in Northern Italy: a recent survey (2015–2021). Water Science & Technology Vol 85 No 4, 2022. Disponibile in iwaponline.com/wst/article/85/4/1167/86845/Analysis-of-the-variation-of-costs-for-sewage

ESTà (2020). Economia circolare del cibo a Milano. Disponibile in assesta.it/new-site/wp-content/uploads/2020/10/Economia-Circolare-pag-affiancate-15_10_2020.pdf

Eur Eau (2021). Waste water treatment – sludge management. Briefing note. Disponibile in www.eureau.org/resources/briefing-notes/5629-briefing-note-on-sludge-management/file

Ispra (2021). Rapporto sui rifiuti speciali. Edizione 2021. Disponibile in www.isprambiente.gov.it/files2021/pubblicazioni/rapporti/rapportorifiutispeciali_ed-2021_n-345_versionedati-di-sintesi.pdf

Lanz (2022). La gestione dei fanghi di depurazione. Intervento al convegno La sostenibilità nel recupero dei fanghi biologici in agricoltura. Milano, 14 ottobre 2022

MM (2021) BILANCIO DI SOSTENIBILITA' 2021. Disponibile in www.mmspa.eu/wps/portal/mmspa/it/home/sostenibilita/bilanci-sociali

NRC (National Research Council) of the National Academies of Sciences (2002). The Biosolids Applied to Land: Advancing Standards and Practices. The National Academies Press. 500 Fifth Street, NW Washington, D.C. 20001.

Padovani (2022). Tavola Rotonda: Innovazione e sostenibilità, valutazioni di ARPA Lombardia. Intervento al convegno La sostenibilità dei fanghi biologici in agricoltura nell'era dell'economia circolare e della resilienza. Milano, 26 maggio 2022

PNRR (2021). Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza. Disponibile in www.governo.it/sites/governo.it/files/PNRR.pdf

PRGR (2022). Programma Regionale di Gestione dei Rifiuti. Piano verso l'economia circolare. Relazione di Piano. Disponibile in www.regione.lombardia.it/wps/wcm/connect/1c55c743-7f9a-4f49-bab3-e8bod9b33315/2_PRGR-relazione+di+piano.pdf?MOD=AJPERES&CACHEID=ROOTWORKSPACE-1c55c743-7f9a-4f49-bab3-e8bod9b33315-044kQor

Soil4life (2019). Rapporto sull'uso delle matrici organiche in Lombardia. Stato dell'arte. Disponibile in soil4life.eu/wp/wp-content/uploads/2020/06/Rapporto-stato-dellarte-uso-matrici-organiche-in-Lombardia.pdf

APPROFONDIMENTO 1 BIOECONOMIA CIRCOLARE: UN INQUADRAMENTO TEORICO

Bezama, A. (2016). Let us discuss how cascading can help implement the circular economy and the bio-economy strategies. Waste Management & Research, 34(7), 593-594.

Cicarese, L., Pellegrino, P., & Pettenella, D. (2014). A new principle of the European Union forest policy: the cascading use of wood products. L'Italia Forestale e Montana, 69(5), 285-290.

D'Amato, D., Droste, N., Allen, B., Kettunen, M., Lähinen, K., Korhonen, J., ... & Toppinen, A. (2017). Green, circular, bio economy: A comparative analysis of sustainability avenues. Journal of cleaner production, 168, 716-734. Ellen MacArthur Foundation (2017), Urban Biocycles, ellenmacarthurfoundation.org/cities-urban-biocycles

European Commission (EC), (2020) A new Circular Economy Action Plan. For a cleaner and more competitive

Europe. Communication from the commission to the parliament, council and committees, COM(2020)98, European Commission: Brussels, Belgium.

European Commission (EC), (2012) Innovating for Sustainable Growth: A Bioeconomy for Europe; COM, European Commission: Brussels, Belgium.
Eyvindson, K., Repo, A., & Mönkkönen, M. (2018). Mitigating forest biodiversity and ecosystem service losses in the era of bio-based economy. Forest Policy and Economics, 92, 119-127.

Gawel, E., Pannicke, N., & Hagemann, N. (2019). A path transition towards a bioeconomy—The crucial role of sustainability. Sustainability, 11(11), 3005.

Giampietro, M. (2019). On the circular bioeconomy and decoupling: implications for sustainable growth. Ecological economics, 162, 143-156.

Hetemäki, L., Hanewinkel, M., Muys, B., Ollikainen, M., Palahí, M., Trasobares, A., ... & Potočník, J. (2017). Leading the way to a European circular bioeconomy strategy (Vol. 5, p. 52). Joensuu, Finland: European Forest Institute.

Kleinschmit, D., Lindstad, B. H., Thorsen, B. J., Toppinen, A., Roos, A., & Baardsen, S. (2014). Shades of green: a social scientific view on bioeconomy in the forest sector. Scandinavian journal of forest research, 29(4), 402-410.

Kirchherr, J., Reike, D., & Hekkert, M. (2017). Conceptualizing the circular economy: An analysis of 114 definitions. Resources, conservation and recycling, 127, 221-232.

Kröger, M., & Raitio, K. (2017). Finnish forest policy in the era of bioeconomy: A pathway to sustainability?. Forest policy and Economics, 77, 6-15.

Korhonen, J., & Seager, T. P. (2008). Beyond eco-efficiency: a resilience perspective. Business Strategy and the Environment, 17(7), 411-419.

Korhonen, J., Nuur, C., Feldmann, A., & Birkie, S. E. (2018). Circular economy as an essentially contested concept. Journal of cleaner production, 175, 544-552.

Leipold, S., & Petit-Boix, A. (2018). The circular economy and the bio-based sector-Perspectives of European and German stakeholders. Journal of cleaner production, 201, 1125-1137.

Mustalahti, I. (2018). The responsive bioeconomy: The need for inclusion of citizens and environmental capability in the forest based bioeconomy. Journal of Cleaner Production, 172, 3781-3790.

Patermann, C., & Aguilar, A. (2018). The origins of the bioeconomy in the European Union. New biotechnology, 40, 20-24.

Pfau, S. F., Hagens, J. E., Dankbaar, B., & Smits, A. J. (2014). Visions of sustainability in bioeconomy research. Sustainability, 6(3), 1222-1249.

Priefer, C., Jörisen, J., & Frör, O. (2017). Pathways to shape the bioeconomy. Resources, 6(1), 10.

Pülzl, H., Kleinschmit, D., & Arts, B. (2014). Bioeconomy—an emerging meta-discourse affecting forest discourses?. Scandinavian Journal of Forest Research, 29(4), 386-393.

Stahel, W. R. (2019). Economia circolare per tutti: concetti base per cittadini, politici e imprese. Edizioni Ambiente.

Tan, E. C., & Lamers, P. (2021). Circular bioeconomy concepts—a perspective. *Frontiers in Sustainability*, 2, 701509.

Vis, M., Mantau, U., & Allen, B. (eds.) (2016). CASCADES: Study on the optimised cascading use of wood. No. 394/PP/ENT/RCH/14/7689. Final Report. Brussels, Belgium

Winans, K., Kendall, A., & Deng, H. (2017). The history and current applications of the circular economy concept. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 68, 825-833.

APPROFONDIMENTO 2

IL SUOLO: COMPONENTE ESSENZIALE DEGLI ECOSISTEMI TERRESTRI

Arshad, M.A., Lowery B., Grossman B. (1996) - Physical tests for monitoring soil quality. In: *Methods for assessing soil quality*, J.W. Doran and A.J. Jones (Eds.). Soil Science Society of America, Special Publication 49, SSSA, Madison, WI, pp. 123-142.

Bockheim J.G., Gennadiyev A.N., Hartemink A.E., Brevik E.C. (2014) - Soil-forming factors and soil taxonomy. *Geoderma*, 226-227: 231-237.

Brady N.C., Weil R.R. (2007) - *The Nature and Properties of Soils*, 14th edition. Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ.

Buol S.W., Hole F.D., McCracken R.J., Southard R.J. (1997). *Soil Genesis and Classification*, 4th edition. Iowa State University Press, Ames, IA.

Fisher R.F., Binkley D. (2000). *Ecology and Management of Forest Soils*. 3rd edition. John Wiley and Sons, Inc., New York.

Herridge D.F., Peoples M.B., Boddey R.M. (2008). Global inputs of biological nitrogen fixation in agricultural systems. *Plant and Soil*, 311: 1-18.

Jenny H. (1941). *Factors of Soil Formation: A System of Quantitative Pedology*. McGraw-Hill, New York.

Karlen D.L., Mausbach M.J., Doran J.W., Cline R.G., Harris R.F., Schuman G.H. (1997). Soil quality: A concept, definition, and framework for evaluation (A Guest Editorial). *Soil Science Society of America Journal*, 61: 4-10.

Kimmins J.P. (1997) - *Forest Ecology. A Foundation for Sustainable Management*. 2nd edition. Prentice Hall, Inc., Upper Saddle River, NJ.

Neary D.G., Klopatek C.C., Debano L.F., Ffolliott P.F. (1999). Fire effects on belowground sustainability: a review and synthesis. *Forest Ecology and Management*, 122: 51-71.

Soil Survey Staff (1999). *Soil Taxonomy: A Basic System of Soil Classification for Making and Interpreting Soil Surveys*, 2nd edition. U.S. Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service Handbook 436, Washington, DC.

Soil Survey Staff (2014)a - *Keys to Soil Taxonomy*, 12th edition. U.S. Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service, Washington, DC.

Soil Survey Staff (2014)b - *Illustrated Guide to Soil Taxonomy*. U.S. Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service, National Soil Survey Center, Lincoln, NE.

SSSA (2008) - *Glossary of Soil Science Terms*. Soil Science Society of America. Madison, WI.

APPROFONDIMENTO 3

CARATTERISTICHE E PROBLEMATICHE DEI SUOLI: PANORAMICA DALLA SCALA MONDIALE ALLA SCALA LOCALE

ASVIS (2021). SDG20 - La misurazione dello sviluppo sostenibile nei Paesi del G20, Roma, asvis.it/public/asvis2/files/Pubblicazioni/SDG20.pdf

Autorità Ambientale Regionale, Regione Lombardia (2017). Piano di monitoraggio ambientale del PSR 2014-2020, Allegato 3 – Aggiornamento dell’analisi di contesto ambientale, www.regione.lombardia.it/wps/wcm/connect/e6e3odo6-24d4-426c-aoca-ec4e27b3b890/Piano_monitoraggio_ambientale_PSR_All3_Analisi_contesto_ambientale.pdf?MOD=AJPERES&CACHEID=ROOTWORKSPACE-e6e3odo6-24d4-426c-aoca-ec4e27b3b890-mo7goKW

Canedoli C., Ferrè C., Abu El Khair D., Padoa-Schioppa E., Comolli R. (2020). Soil organic carbon stock in different urban land uses: high stock evidence in urban parks, *Urban Ecosystems*, ISSN 1083-8155, Vol. 23, n. 1, 23:159-171, DOI 10.1007/s11252-019-00901-6, www.researchgate.net/profile/Claudia-Canedoli/publication/336949800_Soil_organic_carbon_stock_in_different_urban_land_uses_high_stock_evidence_in_urban_parks/links/5eaa94d5299bf18b9587e5ba/Soil-organic-carbon-stock-in-different-urban-land-uses-high-stock-evidence-in-urban-parks.pdf

Comitato per il Capitale Naturale (2021). Quarto Rapporto sullo Stato del Capitale Naturale in Italia. Roma, www.mite.gov.it/sites/default/files/archivio/allegati/CapitaleNaturale/IV_Rapporto_CN.pdf

Commissione europea (2005), “Soil Atlas of Europe”.

Commissione Europea (2006), Comunicazione della Commissione al Consiglio, al Parlamento europeo, al Comitato economico e sociale europeo e al Comitato delle regioni: Strategia tematica per la protezione del suolo, COM(2006)231 def.

Commissione Europea (2018). COMM(2018)35 - Report from the Commission to the European Parliament and the Council on the impact of the use of oxo-degradable, including oxo-degradable plastic carrier bags, on the environment, Brussels: European Commission. Disponibile in: ec.europa.eu/enviroment/circular-economy/pdf/oxo-plastics.pdf

Commissione Europea - Directorate-General for Research and Innovation (2020). Caring for soil is caring for life: ensure 75% of soils are healthy by 2030 for food, people, nature and climate : report of the Mission board for Soil health and food; Veerman C., Pinto Correia T., Bastioli C. et al., Publications Office, data.europa.eu/doi/10.2777/821504_research-and-innovation.ec.europa.eu/document/download/af94d1bf-a363-4c24-a1e8-72688184864f_en

Commissione Europea (2021). Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the

European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions, EU Soil Strategy for 2030 - Reaping the benefits of healthy soils for people, food, nature and climate, COM/2021/699 final, eur-lex.europa.eu/legal-content/IT/TXT/DOC/?uri=CELEX:52021DCo699&from=EN

Comune di Milano (2020). Milano 2030 – Piano di Governo del Territorio, approvato, Documento di Piano, www.pgt.comune.milano.it/pgt_file_download/b!88kfkdy6ka1FQJ8CP8l_1ken78aR3NjkcxoQgfR2kK4M-X2Jz8iSJx6ToAzeiZ_/o1IBPLUZWZINNLZDNMM5BIY63PY4QNAB5H/1_DP_Relazione_generale_2020o2o5.pdf

Comune di Milano (2022). Piano Aria e Clima, approvato con Delibera di Consiglio Comunale n. 4, www.comune.milano.it/documents/20126/430903598/Piano+Aria+Clima+-+Approvato+-220325.pdf/bb865fc9-f37b-a90a-b4d1-ff595e7162ef?t=1652093098404

Consiglio Regionale Lombardia (2020). Atto di indirizzo, in Regione Lombardia, Deliberazione di Giunta Regionale, n° XI / 6843, Seduta del 02/08/2022, “Presenza d’atto della proposta di aggiornamento del Programma Energia Ambiente e Clima (PREAC) ai sensi della Deliberazione della Giunta regionale nr. 4021 del 14 dicembre 2020”, agosto 2022 www.regione.lombardia.it/wps/wcm/connect/ocdb2422-45a1-4cb9-a640-78849fda7809/1_dgr+6843+2+AGOSTO+2022+PREAC.pdf?MOD=AJPERES&CACHEID=ROOTWORKSPACE-ocdb2422-45a1-4cb9-a640-78849fda7809-odFWZ.t, p. 580 e ss

De Feudis (2021). Webinar n. 1 – Risultati del progetto dimostrativo – 1° parte. I suoli e la sostanza organica, progetto Valsos, progetto-valsos.wixsite.com/home/post/webinar-n-1-5-marzo-2021-dal-suolo-al-paesaggio-un-approccio-ecosistemico

FAO (2017). Global Soil Organic Carbon Map, www.fao.org/3/i8195e/i8195e.pdf

FAO (2021). World Food and Agriculture - Statistical Yearbook 2021. Rome. doi.org/10.4060/cb4477en

FAO (2022). Global Soil Organic Carbon Sequestration Potential Map – GSOCseq, www.fao.org/global-soil-partnership/gsocseq-map

IPBES (2018), “The assessment report on land degradation and restoration”.

IPCC (2019). Climate Change and Land: an IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems. Shukla, P.R., Skea, J., Calvo-Buendia, E., Masson-Delmotte, V., Pörtner, H.O., Roberts, D.C., Zhai, P., Slade, R. et al., eds.

ISPRA (2021). Libro Bianco sulla Gestione Sostenibile del Suolo, www.isprambiente.gov.it/files2022/notizie/libro-bianco-sulla-gestione-sostenibile-del-suolo_3_2.pdf

ISPRA/SNPA (2022). Consumo di suolo, dinamiche territoriali e servizi ecosistemici, Report 32/2022, Roma, www.snpambiente.it/wp-content/uploads/2022/07/Rapporto_consumo_di_suolo_2022.pdf

JRC (2018), Atlante mondiale della desertificazione, wad.jrc.ec.europa.eu/JRC (2017). Best Available Techniques (BAT) - Reference Document for the Intensive Rearing of Poultry or Pigs (IRPP), EUR 28674 EN, eippcb.jrc.ec.europa.eu/reference/intensive-rearing-poultry-or-pigs-o

Oggionni F. (2003). Stima del valore della risorsa suolo, in Gibelli M.G. (a cura di), “Il paesaggio delle frange urbane”, Quaderni del Piano Territoriale, n. 19, Provincia di Milano, Franco Angeli, Milano, pp. 41-44

PASM - Parco Agricolo Sud Milano (2007). Piano di settore agricolo (Art. 19 L.R. 24/90; art. 7 N.T.A., Piano Territoriale di Coordinamento del Parco Agricolo Sud Milano, D.G.R. N. VII/818 del 3 agosto 2000), approvato dal Consiglio Direttivo del Parco, Del. n. 33 del 17 luglio 2007.

Poliedra - Politecnico di Milano (2022a). Proposta di Rapporto Ambientale. All. 2 – Analisi di contesto, in Regione Lombardia, Deliberazione di Giunta Regionale, n° XI / 6843, Seduta del 02/08/2022, “Presenza d’atto della proposta di aggiornamento del Programma Energia Ambiente e Clima (PREAC) ai sensi della Deliberazione della Giunta regionale nr. 4021 del 14 dicembre 2020”, agosto 2022. www.regione.lombardia.it/wps/wcm/connect/ocdb2422-45a1-4cb9-a640-78849fda7809/1_dgr+6843+2+AGOSTO+2022+PREAC.pdf?MOD=AJPERES&CACHEID=ROOTWORKSPACE-ocdb2422-45a1-4cb9-a640-78849fda7809-odFWZ.t

Poliedra - Politecnico di Milano (2022b). Valutazione Ambientale Strategica, Sintesi Non Tecnica, Luglio 2022, in Regione Lombardia, Deliberazione di Giunta Regionale, n° XI / 6843, Seduta del 02/08/2022, “Presenza d’atto della proposta di aggiornamento del Programma Energia Ambiente e Clima (PREAC) ai sensi della Deliberazione della Giunta regionale nr. 4021 del 14 dicembre 2020”, agosto 2022, www.regione.lombardia.it/wps/wcm/connect/ocdb2422-45a1-4cb9-a640-78849fda7809/1_dgr+6843+2+AGOSTO+2022+PREAC.pdf?MOD=AJPERES&CACHEID=ROOTWORKSPACE-ocdb2422-45a1-4cb9-a640-78849fda7809-odFWZ.t, p. 13-193

PNS PAC - Piano Nazionale Strategico per la PAC (2022). Versione approvata dalla Commissione Europea, 2/12/2022, www.reterurale.it/downloads/PSP_Italia_151120221_Def.pdf

Previtali F. (1984). Introduzione allo studio dei suoli, CLESAV, Milano.

Regione Lombardia - Ersaf (2013). Il ruolo dell’agricoltura conservativa nel bilancio del carbonio. AgriCO2ltura. Quaderni della Ricerca n. 153

Regione Lombardia (2021). PSR 2014-2020 esteso al 2022, www.psr.regione.lombardia.it/wps/wcm/connect/e851d7ea-6ce2-4447-93bd-05f2d79b8951/PSR+V+10.pdf?MOD=AJPERES&CONVERTTO=url&CACHEID=ROOTWORKSPACE-e851d7ea-6ce2-4447-93bd-05f2d79b8951-nU24

Regione Lombardia (2022). Documento di Piano PREAC, Deliberazione di Giunta Regionale, n° XI / 6843, Seduta del 02/08/2022, “Presenza d’atto della proposta di aggiornamento del Programma Energia Ambiente e Clima (PREAC) ai sensi della Deliberazione della Giunta regionale nr. 4021 del 14 dicembre 2020”, agosto 2022. www.regione.lombardia.it/wps/wcm/connect/ocdb2422-45a1-4cb9-a640-78849fda7809/1_dgr+6843+2+AGOSTO+2022+PREAC.pdf?MOD=AJPERES&CACHEID=ROOTWORKSPACE-ocdb2422-45a1-4cb9-a640-78849fda7809-odFWZ.t, p. 290-580.

SISS - Società Italiana della Scienza del Suolo (2018). Articolo: Carta Italiana del Carbonio organico (a cura del CREA et al.), scienzadel-suolo.org/carta_italiana_carbonio_organico.php; carta consultabile sul sito della FAO: 54.229.242.119/GSOCmap/

Stolte J., Tesfai M., Øygarden L., Kværnø S., Keizer J., Verheijen F., Panagos P., Ballabio C., Hessel R. (2016). Soil threats in Europe; EUR 27607, esdac.jrc.ec.europa.eu/public_path/shared_folder/doc_pub/EUR27607.pdf

VALSOS (2020-2022), Valutazione della Sostanza Organica del Suolo per la produzione agricola sostenibile, progetto-valsos.wixsite.com/home

Vysna V., Maes J., Petersen J.E., La Notte A., Vallecillo S., Aizpurua N., Ivits E., Teller A. (2021), Accounting for ecosystems and their services in the European Union (INCA). Final report from phase II of the INCA project aiming to develop a pilot for an integrated system of ecosystem accounts for the EU. Statistical report. Publications office

of the European Union, Luxembourg, ec.europa.eu/eurostat/documents/7870049/12943935/KS-FT-20-002-EN-N.pdf/de44610d-79e5-010a-5675-14fc4d8527d9?t=1624528835061

APPROFONDIMENTO 4

EMISSIONI E ASSORBIMENTI DEL SETTORE AGRO-ZOOTECNICO E FORESTALE

AAR - Autorità Ambientale Regionale (Lombardia) – Poliedra (2017), Piano di monitoraggio ambientale del PSR 2014-2020, Allegato 3 – Aggiornamento dell’analisi di contesto ambientale. Disponibile in: www.regione.lombardia.it/wps/wcm/connect/e6e30d06-24d4-426c-a0ca-ec4e27b3b890/Piano_monitoraggio_ambientale_PSR_All3_Analisi_contesto_ambientale.pdf?MOD=AJPERES&CACHEID=ROOTWORKSPACE-e6e30d06-24d4-426c-a0ca-ec4e27b3b890-m07goKW

AAR - Autorità Ambientale Regionale (Lombardia) - Poliedra (2021). Rapporto di monitoraggio ambientale del PSR 2014-2020 (esteso al 2022), 12/2021 (su dati del 2019). Disponibile in: www.regione.lombardia.it/wps/wcm/connect/59b8be6b-5779-4131-9492-4fc94fd10037/AA_PSR_Monitoraggio_amb_vers_estesa_2021.pdf?MOD=AJPERES&CACHEID=ROOTWORKSPACE-59b8be6b-5779-4131-9492-4fc94fd10037-nXjjh7A

AMAT (2020). Allegato 4 - Relazione tecnica. Mitigazione. Piano Aria e Clima, Comune di Milano. Disponibile in: www.comune.milano.it/documents/20126/430903598/sub+Allegato+4+-+Mitigazione.pdf/b672b7bd-201e-dc47-fb03-e7453faae745?t=1652093322345

ARPA (2021). Rapporto sugli indici e le proiezioni climatiche per la rappresentazione dei cambiamenti climatici attesi. Supporto alla pianificazione regionale in ambito PREAC. 30.11.2021, All. 2, Regione Lombardia, Delib. Giunta Regionale, n° XI / 6843, Seduta del 02/08/2022, “Presenza d’atto della proposta di aggiornamento del Programma Energia Ambiente e Clima (PREAC) ai sensi della Delib. Giunta regionale nr. 4021 del 14/12/2020”. Disponibile in: www.regione.lombardia.it/wps/wcm/connect/ocdb2422-45a1-4cb9-a640-78849fda7809/1_dgr+6843+2+AGOSTO+2022+PREAC.pdf?MOD=AJPERES&CACHEID=ROOTWORKSPACE-ocdb2422-45a1-4cb9-a640-78849fda7809-odFWZ.t, p. 663 e ss.

Caserini S. (2019). Quanto sono aumentate le temperature medie in Italia? Disponibile in: www.climalteranti.it/2019/02/14/quanto-sono-aumentate-le-temperature-medie-in-italia/ in Poliedra-Politecnico (2022), All. 2 – Analisi di contesto PREAC, vd. Deliberazione Giunta Regionale (2022)

Commissione Europea (2020). Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions on an EU Strategy to reduce methane emissions, 14.10.2020 COM (2020) 663 final. Disponibile in: eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A52020DC0663

Comune di Milano (2020). PGT Milano 2030. Disponibile in: www.pgt.comune.milano.it/

Consiglio Europeo (2022). Fit for 55: reaching climate goals in the land use and forestry sectors. Disponibile in: www.consilium.europa.eu/it/infographics/fit-for-55-lulucf-land-use-land-use-change-and-forestry/

Consiglio regionale Lombardia (2020). Atto di indirizzo per il PREAC del Consiglio regionale, Allegato alla Delib. Regione Lombardia, PREAC, 2022. Disponibile in: www.regione.lombardia.it/wps/wcm/connect/ocdb2422-45a1-4cb9-a640-78849fda7809/1_dgr+6843+2+AGOSTO+2022+PREAC.pdf?MOD=AJPERES&CACHEID=ROOTWORKSPACE-ocdb2422-45a1-4cb9-a640-78849fda7809-odFWZ.t

Copernicus-EU (2022), Methane, the omnipresent and elusive “second” greenhouse gas, 4/11/2022. Disponibile in: atmosphere.copernicus.eu/methane-omnipresent-and-elusive-second-greenhouse-gas

Corte dei Conti Europea (2021). Special report 16/2021: Common Agricultural Policy and climate: Half of EU climate spending but farm emissions are not decreasing. Disponibile in: www.eca.europa.eu/en/Pages/DocItem.aspx?did=58913

EEA - European Environment Agency (2017). Climate change, impacts and vulnerability in Europe 2016. An indicator-based report. N. 1/2017. Disponibile in: www.eea.europa.eu/publications/climate-change-impacts-and-vulnerability-2016

Fantini A. (2021). Le emissioni enteriche di metano dei ruminanti si possono ridurre? Rivista Ruminantia. Disponibile in: ruminantiamese.ruminantia.it/le-emissioni-enteriche-di-metano-dei-ruminanti-si-possono-ridurre/

FAO (2013-2018). GLEAM 2.0 (Global Livestock Environmental Assessment), Roma. Disponibile in: www.fao.org/gleam/en/#:~:text=The%20Global%20Livestock%20Environmental%20Assessment,a%20life%20cycle%20assessment%20approach e risultati in: www.fao.org/gleam/results/en/

FAO (2019). Five practical actions towards low-carbon livestock. FAO, Roma. ISBN: 978-92-5-131985-7. Disponibile in: www.fao.org/publications/card/en/c/CA7089EN/

IPCC (2006a). IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. In: Agriculture, Forestry and Other Land Use (AFOLU), vol. 4, Chapter 10: Emissions from livestock and manure management. Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme, Eggleston H.S., Buendia L., Miwa K., Ngara T. and Tanabe K. (eds). Published: IGES, Japan. Disponibile in: www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/4_Volume4/V4_10_Ch10_Livestock.pdf

IPCC (2006b). IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. In: Agriculture, Forestry and Other Land Use, vol. 4, Chapter 11: N₂O emissions from managed soils, and CO₂ emissions from lime and urea application. Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme, Eggleston H.S., Buendia L., Miwa K., Ngara T. and Tanabe K. (eds). Published: IGES, Japan. Disponibile in: www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/4_Volume4/V4_11_Ch11_N2O&CO2.pdf

IPCC (2014). Fifth Assessment Report (AR5), in Greenhouse Gas Protocol (2016). Global Warming Potential Values. Disponibile in: www.ghgprotocol.org/sites/default/files/ghgp/Global-Warming-Potential-Values%20%28Feb%2016%202016%29_1.pdf

IPCC (2022). Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [P.R. Shukla, J. Skea, R. Slade, A. Al Khourdajie, R. van Diemen, D. McCollum, M. Pathak, S. Some, P. Vyas, R. Fradera, M. Belkacemi, A. Hasijsa, G. Lisboa, S. Luz, J. Malley, (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA. Disponibile in: www.ipcc.ch/report/ar6/wg3/downloads/report/IPCC_AR6_WGIII_SPM.pdf

ISPRA (2021). Emissioni di gas a effetto serra in agricoltura – dati e serie storiche a scala regionale, Annuario Dati Ambientali. Disponibile in: annuario.isprambiente.it/sites/default/files/indicatori-pon/4/21_GHG%20agricoltura_20dic21.xlsx

ISPRA (2022). Le emissioni di gas serra in Italia alla fine del secondo periodo del Protocollo di Kyoto: obiettivi di riduzione ed efficienza energetica. Report 362/2022. Disponibile in: www.isprambiente.gov.it/files2022/

[pubblicazioni/rapporti/rapporto_362_2022-completo-13_04.pdf](#)

ISPRA (2022a). Italian Greenhouse Gas Inventory 1990-2020. National Inventory Report 2022, 360/2022. Disponibile in: www.isprambiente.gov.it/files2022/pubblicazioni/rapporti/nir2022_italy_r360.pdf

ISPRA (2022b). Inventario provinciale delle emissioni in atmosfera. Banca dati delle emissioni atmosferiche dell'anno 2019, classificate per livello di attività CORINAIR (SNAP), disaggregate dall'inventario nazionale, Database excel (oltre 1 milione e 600 mila record), (Submission 2021: www.ceip.at/status-of-reporting-and-review-results/2021-submission; unfccc.int/ghg-inventories-annex-i-parties/2021); disaggregazione effettuata spazialmente sia al livello provinciale, che su griglia di 0.1×0.1 gradi long/lat . Disponibile in: emissioni.sina.isprambiente.it/wp-content/uploads/2021/11/DB_ON_LINE_CampiIncrociati.xlsx . Nota: ISPRA ogni 4 anni pubblica dati (excel) stimati di emissioni (per ogni inquinante dell'aria e di gas serra) per ogni attività, disaggregati a livello provinciale, tramite applicazione di una metodologia top-down, Ispra (2022b). Manuale. La disaggregazione a livello provinciale dell'Inventario Nazionale delle Emissioni, Rapporto 369/Luglio 2022. Disponibile in: www.isprambiente.gov.it/files2022/pubblicazioni/rapporti/dis_inv_naz_12luglio_2022_rev-1.pdf

ISPRA (2022c). Le emissioni di gas serra in Italia alla fine del secondo periodo del Protocollo di Kyoto: obiettivi di riduzione ed efficienza energetica, Rapporto n. 362/2022. Disponibile in: www.isprambiente.gov.it/files2022/pubblicazioni/rapporti/rapporto_362_2022-completo-13_04.pdf

JRC (2017). IRPP (Intensive Rearing of Poultry or Pigs). Disponibile in: eippcb.jrc.ec.europa.eu/reference/intensive-rearing-poultry-or-pigs-o

Mercalli L., Buffa, Ricciardi (2017). (SMI, Società Meteorologica Italiana), Report Cambiamenti climatici e sistemi agro-alimentari, Report commissionato da Slow Food. Disponibile in: www.fondazioneSlowFood.com/wp-content/uploads/2021/01/@IT_2017_Studio-SMI-clima-e-agricoltura.pdf

Parlamento Europeo (2021). Emissioni di gas serra nell'UE per Paese e settore. Disponibile in: www.europarl.europa.eu/news/it/headlines/society/20180301STO98928/emissioni-di-gas-serra-per-paese-e-settore-infografica (con dati EEA, 2019)

PIM – Centro Studi (2020). Rapporto ambientale. Valutazione Ambientale Strategica. Piano Urbano della mobilità sostenibile della Città Metropolitana di Milano. Disponibile in: www.cittametropolitana.mi.it/export/sites/default/PUMS/doc/Decreto-Sindacale-RepGen-230-del-30-12-2020-Adozione-PUMS-Rapporto-Ambientale.pdf

Poliedra-Politecnico di Milano (2022). Proposta di Rapporto Ambientale. All. 2 – Analisi di contesto, in Regione Lombardia, Delib. Giunta Regionale, n° XI / 6843, Seduta del 02/08/2022, “Presenza d'atto della proposta di aggiornamento del Programma Energia Ambiente e Clima (PREAC) ai sensi della Delib. Giunta regionale nr. 4021 del 14/12/2020”, 08/2022. Disponibile in: www.regione.lombardia.it/wps/wcm/connect/ocdb2422-45a1-4cb9-a640-78849fda7809/1_dgr+6843+2+AGOSTO+2022+PREAC.pdf?MOD=AJPERES&CACHEID=ROOTWORKSPACE-ocdb2422-45a1-4cb9-a640-78849fda7809-odFWZ.t , p. 1342 e ss.

Regione Lombardia (2022), Delib. Giunta Regionale, n° XI / 6843, Seduta del 02/08/2022, “Presenza d'atto della proposta di aggiornamento del Programma Energia Ambiente e Clima (PREAC) ai sensi della Delib. Giunta regionale nr. 4021 del 14/12/2020”, 08/2022. Documento di Piano PREAC. Disponibile in: www.regione.lombardia.it/wps/wcm/connect/ocdb2422-45a1-4cb9-a640-78849fda7809/1_dgr+6843+2+AGOSTO+2022+PREAC.pdf?MOD=AJPERES&CACHEID=ROOTWORKSPACE-ocdb2422-45a1-4cb9-a640-78849fda7809-odFWZ.t

Varotto M. (2022). Green Deal europeo: nuova stretta alle emissioni inquinanti di impianti industriali e

allevamenti zootecnici, 29/04/2022. Disponibile in: maurovarottoblog.com/2022/04/29/green-deal-europeo-nuova-stretta-alle-emissioni-inquinanti-di-impianti-industriali-e-allevamenti-zootecnici/

EStà è un centro indipendente e non profit di ricerca, formazione e consulenza che promuove l'innovazione nei sistemi ambientali, socioeconomici e culturali. Lavora con enti pubblici, terzo settore, università e centri di ricerca, fondazioni, sindacati e imprese, connettendo i loro temi alla sostenibilità e fornendo loro elementi utili per conoscere il funzionamento del contesto in cui operano, prendere decisioni e promuovere una cittadinanza attiva.