

Nuove tecnologie ed avanzamenti scientifici nella gestione integrata di territorio, ambiente e paesaggio rurale: sfide e opportunità nell'era "One Health"

Picuno P.¹, Becciolini V.², Conti L.², D'Urso P.R.³, Cinardi G.³, Finzi A.⁴, Fumagalli N.⁴, Mattia A.², Mautone A.⁴, Parlato M.⁵, Pezzuolo A.⁵, Rossi G.², Senes G.⁴, Arcidiacono C.³

¹Dipartimento di Scienze Agrarie, Forestali, Alimentari ed Ambientali (DAFE), Università degli Studi della Basilicata

²Dipartimento di Scienze e Tecnologie Agrarie, Alimentari, Ambientali e Forestali (DAGRI), Università degli studi di Firenze

³Dipartimento di Agricoltura Alimentazione e Ambiente (Di3A), Università degli Studi di Catania

⁴Dipartimento di Scienze Agrarie e Ambientali (DiSAA), Università degli Studi di Milano

⁵Dipartimento di Territorio e Sistemi Agro-Forestali (TESAF), Università degli Studi di Padova

Riassunto

L'Ingegneria Agraria e dei Biosistemi svolge un ruolo determinante nell'implementazione della strategia "One Health", grazie al significativo apporto di conoscenze in tema di soluzioni tecnologiche, in grado di tutelare la salute degli esseri umani in maniera olistica, congiuntamente cioè a quella di tutti gli organismi viventi, vegetali ed animali, nel più generale contesto dell'ambiente circostante. L'Ingegneria Agraria e dei Biosistemi infatti contribuisce alla sostenibilità e alla resilienza dei sistemi alimentari ed alla salute e al benessere di animali e vegetali, ottimizzando i sistemi di lavorazione, confezionamento e conservazione degli alimenti, nonché garantendo un approvvigionamento alimentare stabile alla nutrizione umana. Le tecnologie di agricoltura di precisione – come, ad esempio, trattori guidati da GPS; monitoraggio colturale tramite droni; pianificazione delle attività tramite GIS/DSS/LIM; ecc. – contribuiscono infatti a ridurre l'uso eccessivo di fertilizzanti e pesticidi, proteggendo così l'ambiente e la salute degli agricoltori e dei consumatori. La progettazione avanzata di sistemi di allevamento vegetale ed animale – tramite tecniche BIM – è poi in grado di ottimizzare le produzioni vegetali ed animali che avvengono in spazi confinati, in cui controllo ambientale, biosicurezza e miglioramento dell'alimentazione animale, contribuiscono significativamente alla protezione dell'ambiente. Ulteriori sistemi di gestione dell'acqua e dei rifiuti, salute del suolo e mitigazione dell'inquinamento atmosferico nella produzione agricola su larga scala, contribuiscono infine a creare e mantenere sistemi alimentari produttivi, efficienti e sicuri per ogni essere vivente, oltre che sostenibili nel contesto territoriale, ambientale e paesaggistico.

Abstract

Agricultural and Biosystems Engineering is one of the main pillars of the "One Health" strategy, thanks to its significant contribution of knowledge on technological solutions capable of protecting the health of humans, plants and animals, in the broader context of the surrounding environment. It contributes indeed to sustainability and resilience of food systems and to the health and well-being of animals and plants, optimizing food processing, packaging and storage systems, as well as ensuring a stable food supply to human nutrition. Precision farming technologies — as GPS-guided tractors; crop monitoring through drones; activity planning using GIS/DSS/LIM; etc. — help reducing the excessive use of agrochemicals, thus protecting the environment and the health of farmers and consumers. In particular, advanced design of plant and animal farming systems — using BIM techniques — can optimize plant and animal production in confined airspaces, where environmental control, biosecurity, and improved animal nutrition, contribute significantly to environmental protection. Water and waste management systems, soil health and air pollution mitigation in large-scale agricultural production, may ultimately contribute to creating and maintaining productive, efficient and safe food systems for all living beings, while reducing the environmental footprint of agriculture on the broader territorial, environmental and landscape context.

Keywords: *Agricultural engineering, Farm buildings, Agroforestry land, Environmental footprint, Rural landscape.*

Introduzione

L'Ingegneria Agraria e dei Biosistemi contribuisce con svariati e significativi contributi all'avanzamento scientifico ed all'implementazione di tecnologie innovative in un approccio "One Health", in cui salute e ambiente si fondono, per uno sviluppo sostenibile integrale. Tali contributi vengono offerti in tema di promozione di pratiche agricole eco-compatibili e miglioramento degli impatti su salute umana ed ambiente, stimolo all'innovazione nel settore agro-alimentare, preservazione della biodiversità e valorizzazione delle

tradizioni locali, in un più generale contesto inteso alla gestione integrata di territorio, ambiente e paesaggio rurale. I principali temi di ricerca scientifica, di sviluppo sperimentale e supporto al trasferimento di tecnologie innovative risultano pertanto:

-) Impiego di sistemi di irrigazione in grado di ottimizzare l'uso dell'acqua e dei nutrienti, con riduzione del conseguente impatto ambientale.

-) Soluzioni per la gestione ed il controllo del deflusso delle acque meteoriche, in grado di ridurre il trasporto di inquinanti, compresi agenti patogeni e sostanze chimiche, nei corpi idrici, e preservare al contempo le zone ripariali/umide, in grado di filtrare naturalmente gli inquinanti e ridurre la diffusione di organismi che causano malattie.

-) Sistemi di trattamento delle acque reflue, in grado di ridurre al minimo il rilascio di agenti patogeni e inquinanti nei bacini idrici, riducendo così il rischio di malattie trasmesse dall'acqua, che colpiscono uomini e animali.

-) Sviluppo di macchinari dotati di sensori e tecnologia GPS, in grado di implementare tecniche di Agricoltura di Precisione, che consentono un'applicazione puntuale di fertilizzanti e pesticidi, minimizzando la diffusione di sostanze chimiche nocive nell'ambiente e riducendo i rischi per la salute umana e animale, contribuendo così a produzioni alimentari più sicure.

-) Sviluppo di macchinari in grado di gestire l'applicazione del letame animale in modo preciso, in grado di ridurre il rischio di dilavamento e di conseguente contaminazione delle acque.

-) Analisi delle condizioni di impiego di macchinari agricoli ed impianti agro-alimentari in condizioni di sicurezza per gli operatori, così da scongiurare gli inaccettabili tassi tuttora registrati in materia di infortuni – anche gravi, con frequenti tragici decessi – per i lavoratori del settore agricolo ed agro-alimentare.

-) Soluzioni di stoccaggio efficienti, come le strutture a temperatura controllata, in grado di controllare il deterioramento dei prodotti agro-alimentari e lo sviluppo di agenti patogeni, dannosi per la salute umana.

-) Sviluppo di sistemi per la raccolta e la movimentazione meccanizzata, in grado di ridurre le perdite post-raccolta e minimizzare i rischi di contaminazione, assicurando che i consumatori ricevano alimenti più sicuri.

-) Progettazione, anche con l'impiego di tecniche BIM – *Building Information Modeling* - dei fabbricati agricoli e dei relativi sistemi di controllo delle caratteristiche microclimatiche all'interno dei volumi confinati, destinati alle produzioni animali/vegetali, con specifica attenzione verso le condizioni di igiene e salubrità dell'aria per gli operatori, nonché delle più generali conseguenze sulla qualità delle produzioni destinate all'alimentazione umana.

-) Analisi del rilascio di macro-, micro- e nano-plastiche dai materiali plastici (tradizionali o biodegradabili) impiegati in agricoltura - per pacciamatura, copertura di tunnel/serre/tendoni, irrigazione, ecc. – all'interno dei suoli agricoli, con pericoloso pregiudizio della loro fertilità nel tempo e migrazione di plastiche all'interno della catena alimentare umana (Picuno P., 2018).

-) Impiego di materiali *bio-based* per la realizzazione di elementi dell'involucro edilizio, che incorporino elementi naturali di scarto derivanti dalle attività agricole, in modo da contribuire ad un'edilizia rurale più sostenibile, inclusiva ed esteticamente pregevole – anche nell'ottica della *New Bauhaus Initiative* Europea - ed al recupero di risorse materiali, in un'ottica di Economia Circolare.

-) Impiego di Soluzioni Basate sulla Natura (*Nature-Based Solutions* – NBS) per applicazioni in architettura ed edilizia, incluse tecniche che impiegano elementi viventi - quali i “tetti verdi”, le “pareti verdi”, ecc. - intese a fornire migliore *comfort* abitativo, contribuendo al contempo a ridurre i consumi energetici e le corrispondenti emissioni di gas climalteranti in atmosfera (Senes et al., 2022);

-) Valorizzazione dei dati derivanti dall'osservazione della Terra, ai fini dell'analisi, rappresentazione, pianificazione e gestione del territorio ed ambiente rurale, anche mediante strumenti informatici GIS (*Geographical Information Systems*), DSS (*Decision Support Systems*), LIM (*Landscape Information Modeling* - Picuno et al., 2022), ecc., in grado di consentire anche l'impiego di soluzioni a ridotto impatto ambientale, quali le infrastrutture verdi, i servizi ecosistemici, ecc. (Fumagalli et al. 2025, Senes et al., 2023a).

-) Approfondimenti del concetto di Paesaggio rurale, quale elemento capace di fornire un contributo significativo al benessere umano, anche in virtù di potenziali soluzioni in grado di valorizzarne l'effetto terapeutico - es., “*Healing Gardens*” (Giardini curativi), “*Forest Therapy*”, ecc.

Nel presente articolo, al fine di individuare il ruolo sull'approccio «*One Health*» delle Costruzioni Rurali, vengono in particolare evidenziate le tre principali componenti che determinano effetti diversi su territorio, ambiente e paesaggio rurale, tenuti insieme dal ruolo fondamentale esercitato dal fabbricato, immaginato in qualità di membrana di separazione tra un volume confinato interno e lo spazio esterno:

-) Microclima interno al fabbricato rurale;

-) Involucro edilizio, relative soluzioni architettoniche e materiali costruttivi;
-) Rapporti con territorio, ambiente e paesaggio agroforestale circostante.

Microclima interno al fabbricato rurale

Il microclima interno ad un ambiente confinato svolge un ruolo essenziale nell'assicurare condizioni di benessere ad animali e vegetali, garantendo nel contempo condizioni di sicurezza, igiene e salubrità degli operatori.

Il Microclima interno coinvolge i seguenti campi di analisi, con ripercussioni più o meno dirette sulla salute umana:

-) Sicurezza dei lavoratori
-) Igiene e salubrità degli operatori
-) Salute mentale degli operatori
-) Esposizione a livelli di concentrazione inaccettabili di inquinanti e/o prodotti fitosanitari
-) Risparmio energetico e conseguente impatto ambientale

L'analisi delle condizioni ambientali all'interno dell'ambiente protetto comprende il controllo dei principali parametri del benessere vegetale/animale, che devono comunque essere coerenti con le condizioni di salute e salubrità dei lavoratori che – a differenza di svariate altre tipologie produttive – devono assistere gli organismi viventi per tutta la giornata e nel corso dell'intero anno. Tali parametri sono:

- Temperatura
- Umidità relativa
- Velocità dell'aria
- Gas (CO_2 , NH_3 , H_2S , CH_4 , N_2O , *etc.*)
- Polveri
- Luce
- Rumore

I dispositivi che di conseguenza possono venire impiegati ed ottimizzati affinché venga tutelato l'approccio «*One Health*» sono:

-) Sistemi di monitoraggio e impianti di regolazione dei principali parametri ambientali
-) Sistemi di impiego di fonti energetiche alternative e conseguente risparmio

Le sostanze dannose per l'uomo, per gli animali e per l'ambiente, quali il metano (CH_4), il protossido di azoto (N_2O), l'ammoniaca (NH_3), l'anidride carbonica (CO_2), l'idrogeno solforato (H_2S) e le polveri sottili (PM_{10} e $\text{PM}_{2.5}$), possono essere rilevate con successo in diverse tipologie di strutture dedicate all'allevamento intensivo, ad esempio dei suini e dei bovini da latte. I monitoraggi riescono a restituire gli andamenti delle concentrazioni di gas e polveri, mettendo in luce momenti della giornata o dell'anno in funzione della stagione, ma anche zone della stalla, che presentano condizioni ottimali oppure potenzialmente critiche per la salute degli animali o degli operatori (Aarnink & Wagemans 2017; Costa 2017; Mautone et al., 2024; Tugnolo et al., 2022). In ambito scientifico la tecnica comunemente utilizzata per il monitoraggio della concentrazione di gas nelle stalle prevede l'utilizzo di analizzatori infrarossi, il cui principio di funzionamento si basa sull'assorbimento della radiazione elettromagnetica a lunghezze d'onda specifiche da parte di molecole gassose. Tra questi, gli analizzatori basati sulla spettroscopia fotoacustica (PAS) o sulla spettroscopia a trasformata di Fourier (FTIR) (D'Urso et al. 2025a). Si registra un crescente utilizzo anche di analizzatori basati sulla spettroscopia laser, come i QUE-PAS, gli analizzatori a diodo sintonizzabile (TDLAS) e gli analizzatori OA-ICOS e CRDS. Tuttavia, stanno emergendo sistemi di misurazione multigas basati su sensori elettrochimici o a infrarosso non-dispersivo (NDIR), che seppur caratterizzati da minor accuratezza e sensibilità, hanno un costo più accessibile, un utilizzo più semplice, consentono di monitorare contemporaneamente più punti in continuo e permettono di controllare in tempo reale le misure essendo parte di un sistema Internet of Things - IoT (Pigni et al. 2021; Mautone et al., 2024; Provolo et al., 2025, Merlini et al., 2025, D'Urso et al., 2025b). I sistemi per il monitoraggio dei gas sono generalmente integrati con sistemi per l'acquisizione dei parametri climatici. Alcuni esempi dell'applicazione del sistema appena descritto in porcilaie e stalle per bovine da latte sono riportati in figura 1.

Il monitoraggio dei gas, del particolato atmosferico e dei parametri microclimatici rappresenta un aspetto centrale nella valutazione della qualità dell'aria ed è pienamente in linea con i principi della zootecnia di precisione (PLF). Le tecnologie PLF, infatti, consentono un controllo continuo e automatizzato del benessere e della salute degli animali, della produttività e dell'impatto ambientale in tempo reale (Berckmans, 2007). Ne

consegue che il monitoraggio della qualità dell'aria è una componente importante tra le tecnologie PLF, che può aiutare gli allevatori ad aumentare la produzione zootecnica e la qualità della produzione in modo sostenibile (Tullo et al., 2019).

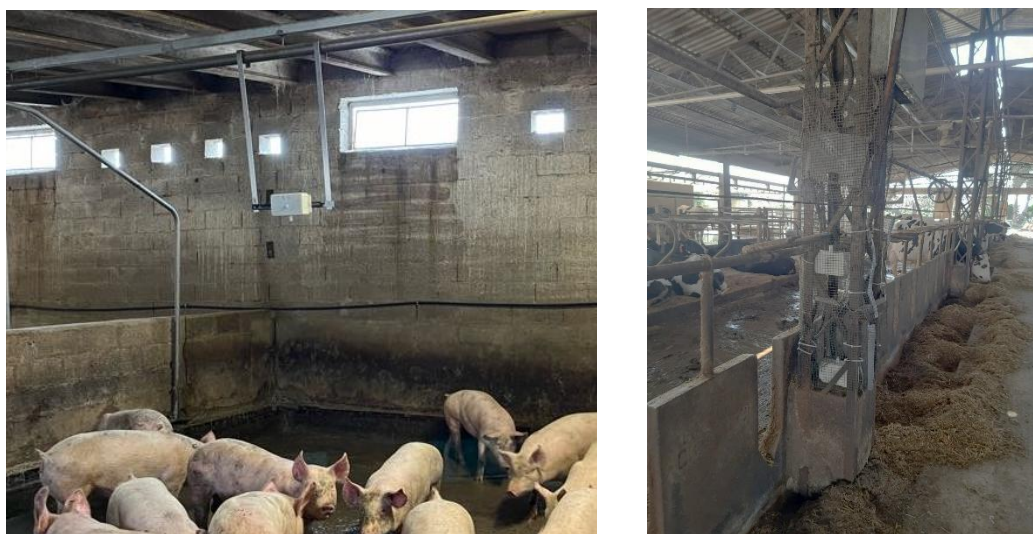


Figura 1 – Applicazione in porcilaia (foto a sinistra) e stalla per bovine da latte (foto a destra) di una centralina multi-sensore per il monitoraggio in continuo della qualità dell'aria.

Infatti, i sistemi di monitoraggio consentono una caratterizzazione accurata della qualità dell'aria all'interno degli allevamenti, sulla base di diversi fattori, tra cui le caratteristiche costruttive (ad esempio, stalle con involucro aperto che favoriscono la ventilazione naturale, oppure con involucro chiuso, e tipologia di pavimentazione), le modalità di gestione del microclima (ad esempio, impianti di ventilazione meccanizzata, sistemi di raffrescamento tramite doccette, utilizzo di tende per la regolazione del flusso d'aria interno all'edificio) e le pratiche di gestione degli animali (numero di mungiture, tipologia di dieta, pulizia delle deiezioni).

È importante sottolineare che le soluzioni costruttive e gestionali sono fortemente condizionate dal contesto climatico in cui gli allevamenti sono realizzati. Ad esempio, negli allevamenti di bovine da latte situati in aree a clima mediterraneo, le stalle presentano generalmente involucri aperti, in cui la ventilazione naturale è integrata con sistemi meccanici. La gestione, inoltre, è orientata in modo prioritario alla riduzione dello stress da caldo, anche mediante l'impiego di impianti di bagnatura delle vacche da latte (D'Urso et al., 2024).

Gli studi presenti in letteratura evidenziano come le caratteristiche costruttive, la composizione della mandria e le modalità di gestione influenzino la produzione di gas, determinando significative differenze nelle emissioni tra gli allevamenti localizzati nel bacino mediterraneo e quelli situati nel Nord Europa, dove le diverse condizioni climatiche incidono in modo rilevante sulla progettazione e sulla gestione aziendale.

La qualità dell'aria può subire un peggioramento in presenza di una scarsa ventilazione interna alla stalla (dovuta a deficit costruttivi delle strutture di stabulazione o alla chiusura delle aperture verso l'esterno, soprattutto nei periodi freddi); in contesti in cui la rimozione delle deiezioni dalla stalla viene svolta poco frequentemente; durante le operazioni di rimozione delle deiezioni dalla pavimentazione della stalla o dalle fosse sottostanti le pavimentazioni fessurate (con effetti più evidenti se le deiezioni hanno avuto una permanenza maggiore); nei momenti in cui c'è un'intensa attività animale (soprattutto durante la distribuzione dell'alimentazione).

I sistemi di monitoraggio sono in grado di rilevare variazioni di breve durata delle concentrazioni di gas e polveri e identificare le zone in cui possono determinarsi condizioni di potenziale rischio ambientale. Inoltre, trasmettendo i dati in tempo reale, tali sistemi possono fornire allerte anticipate aumentando la rapidità di interventi correttivi, ma anche supportare la pianificazione dell'introduzione di adeguate tecniche di mitigazione.

La disponibilità di misure in continuo offre anche la possibilità di approfondire meglio l'andamento delle emissioni verso l'ambiente, riuscendo a comprendere meglio l'entità dell'impatto ambientale che si origina dalle stalle in funzione delle stagioni e dell'andamento meteorologico (Philippe et al., 2011; Guarino et al., 2003; Blanes-Vidal et al., 2008; D'Urso et al., 2025a; D'Urso et al., 2023).

La gestione efficace del microclima interno ai fabbricati rurali richiede l'adozione di strategie innovative

che non solo mirino a controllare i parametri ambientali, ma che riescano a mitigare le emissioni di gas. Le strategie di mitigazione maggiormente diffuse includono:

- la gestione degli animali, ad esempio modifiche della dieta o l'introduzione della terza mungitura;
- l'impiego di soluzioni costruttive, come pavimentazioni specializzate, ventilazione naturale o meccanica;
- la gestione della stalla e delle deiezioni, comprendente tecniche di pulizia dei pavimenti, acidificazione e l'attivazione di sistemi di raffrescamento.

Recentemente la ricerca scientifica sta sviluppando soluzioni sostenibili, quali ad esempio l'impiego di pareti verdi per la riduzione delle polveri sottili (Finocchiario et al., 2025) (Figura 2) o la bio-acidificazione dei liquami per la riduzione dell' NH_3 , mediante l'utilizzo di sottoprodotti della lavorazione del caffè e applicando metodologie che valutano la sostenibilità di tali strategie anche a livello territoriale (Cinardi et al., 2025), evidenziando che la valorizzazione dei sottoprodotti dell'agro-industria può ridurre l'impatto ambientale del trasporto quando l'industria si trova entro un raggio di 75 km dall'allevamento.

Green wall design



In-field measurement campaign



Figura 2 - Schema di progettazione di una parete verde mobile per il monitoraggio delle polveri sottili in una stalla per bovine da latte.

Recentemente ha riscosso interesse nella comunità scientifica anche il monitoraggio degli inquinanti nell'ambiente circostante la stalla. Questo approccio può fornire informazioni sulla loro dispersione al di fuori dell'edificio zootecnico. In particolare, come tecnica complementare ai tradizionali rilevatori a terra (Burgués & Marco 2020; Roldán et al. 2015), ha trovato applicazione l'utilizzo di velivoli a pilotaggio remoto (figura 3), anche se la loro applicazione per la valutazione delle emissioni in agricoltura, in particolare nei sistemi di allevamento, è ancora in fase pionieristica (Ma et al., 2024). I droni utilizzati sono equipaggiati con sistemi per il campionamento di aria, successivamente analizzata mediante gascromatografia (Vinković et al. 2022), oppure con piattaforme multi-sensore a basso costo (Finzi et al., 2024), e prevedono la definizione di specifici protocolli di misurazione a garanzia dell'affidabilità dei dati raccolti. Indipendentemente dalla modalità di misurazione delle concentrazioni degli inquinanti nei pressi delle strutture di stabulazione, sia a terra mediante punti fissi, sia in volo mediante sensori mobili, l'applicazione di appropriati modelli di dispersione atmosferica può consentire di stimare i flussi di emissione dalle sorgenti e di generare mappe di dispersione dei gas, sia a breve che a lungo raggio (Mattia et al., 2025). L'impiego di tali modelli, già ampiamente validato in ambito colturale, richiede tuttavia particolare attenzione quando applicato ai complessi aziendali zootecnici, caratterizzati da una molteplicità di fonti emissive e dalla presenza di ostacoli ai flussi d'aria (ad es. edifici, alberi e arbusti).



Figura 3 - Monitoraggio delle emissioni gassosi e di particolato in un allevamento di suini. Una centralina multisensore è collocata su un aeromobile a pilotaggio remoto (APR), impiegato per misurare le concentrazioni di inquinanti nei dintorni della porcilaia e delle vasche di stoccaggio dei reflui.

Involucro edilizio e relative soluzioni architettoniche e materiali costruttivi

L'involucro edilizio svolge un ruolo fondamentale nell'assicurare condizioni di ergonomia delle produzioni e salvaguardia di sicurezza e salubrità degli operatori. In tale contesto, risulta determinante l'estensione anche a tali fabbricati l'innovativo approccio, recentemente invalso grazie all'iniziativa «*New European Bauhaus*», nell'implementazione dei tre principi fondamentali di: *Sostenibilità, Inclusione, Estetica*. Tale iniziativa, anche finalizzata a sostenere l'attuazione del *Green Deal* europeo nella Bioeconomia Circolare, è destinata ad essere un solido sostegno per l'industria edile europea, anche promuovendo la condivisione delle conoscenze per quanto riguarda le soluzioni *bio-based* sostenibili – quali, ad esempio, l'uso circolare del legno e di altri materiali naturali, ovvero anche sotto-prodotti o residui dalle attività agricole ed agro-industriali (Picuno P., 2022).

Le scelte sull'involucro edilizio coinvolgono i seguenti campi di analisi, che possono determinare effetti più o meno diretti sulla salute umana:

-) Materiali costruttivi, anche a base di soluzioni per bioedilizia;
-) Materiali riciclabili, che richiedono un pronto recupero post-consumo ed indirizzamento verso forme di riciclaggio (materiale, energetico, chimico, *etc.*) – ad esempio, i materiali plastici impiegati nella protezione delle colture (serre, tunnel, pacciamatura, *ecc.*)
-) Aspetti architettonici, *layout* interno.

L'analisi delle proprietà dei materiali da costruzione e delle soluzioni progettuali architettoniche per gli edifici agricoli sostiene il settore edile europeo, affrontando la carenza di manodopera e promuovendo soluzioni sostenibili a base naturale. L'Ingegneria Agraria e dei Biosistemi esamina i materiali da costruzione naturali, anche impiegati negli edifici rurali – quali, ad esempio, i mattoni di argilla cruda essiccati al sole (*c.d.*, “*Adobe*”), eventualmente rinforzati con fibre naturali. La ricerca esplora anche la possibilità di alleggerire con materiali naturali gli elementi strutturali convenzionali, come il calcestruzzo, per migliorare la salute dell'agroecosistema e promuovere materiali di bio-edilizia ecologici (Figura 4).

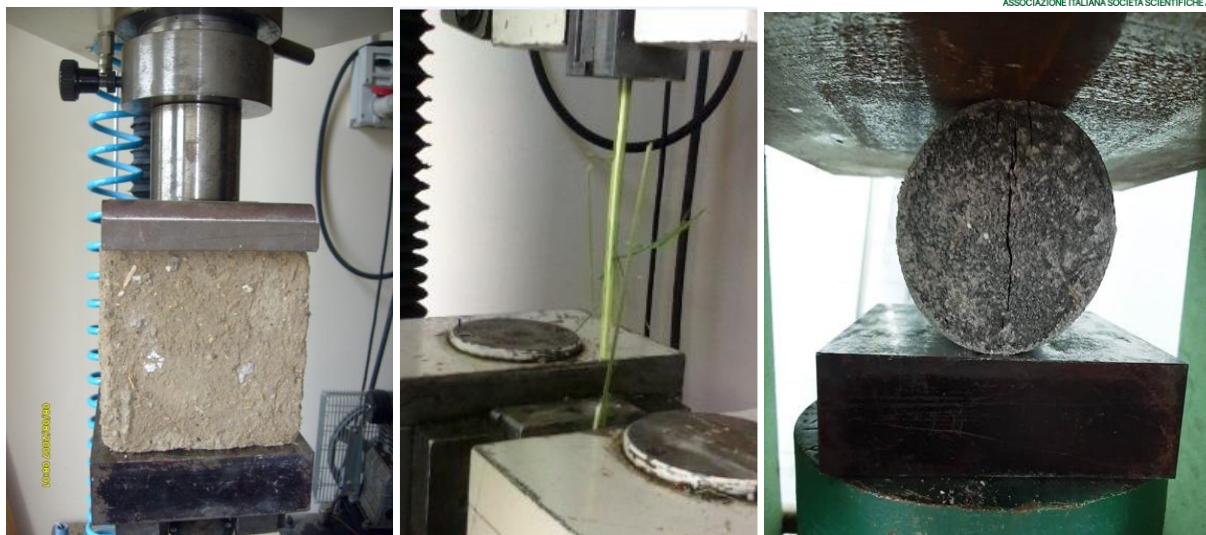


Figura 4 - Prove meccaniche di laboratorio per compressione su mattoni di argilla cruda rinforzati con fibre naturali (paglia/lana - foto a sinistra), per trazione su fibre di *Spartium junceum* (Ginestra – foto al centro), su blocchi in calcestruzzo rinforzati con *Arundo Donax* (per trazione con prova “Brasiliiana” – foto a destra).

La costruzione di componenti isolanti (termici e/o acustici) con materiali naturali - quali paglia, lana, ecc. - può poi migliorare l'efficienza energetica e la sostenibilità ambientale. Materiali di origine biologica, come l'amido di mais, possono poi venire utilizzati in agricoltura per pacciamare il terreno, controllare le infestanti, trattenere l'umidità e migliorare la qualità del suolo. Questi film bio-degradabili contribuiscono alla sostenibilità agricola, riducendo la rimozione e lo smaltimento dei materiali plastici tradizionali.

Le soluzioni basate sulla natura (NBS) utilizzano infine processi naturali per affrontare sfide ambientali, sociali ed economiche, come il rimboschimento e la creazione di zone umide. Le NBS offrono vantaggi quali la mitigazione dei cambiamenti climatici, la conservazione della biodiversità, i servizi ecosistemici, il risparmio energetico e le opportunità economiche.

Il riciclaggio dei rifiuti agricoli comporta infine la conversione di biomasse e materiali plastici agricoli in energia, biocarburanti e fertilizzanti, riducendo i rifiuti e l'impatto ambientale delle produzioni agricole.

Rapporti con territorio, ambiente e paesaggio agroforestale circostante

Il rapporto tra il costruito (componente antropica) ed il circostante ambiente naturale, determina significative ripercussioni sulla qualità della vita, con dirette conseguenze su benessere umano, tutela dell'ambiente naturale, nonché possibili iniziative innovative (quali, ad esempio, lo sviluppo di “Healing Gardens” e della cosiddetta “Forest Therapy”), decisive per un approccio «One Health».

Tali aspetti passano attraverso differenti fasi, quali:

-) Rilievo e Rappresentazione
-) Analisi, Modellizzazione e Valutazione
-) Progettazione
-) Pianificazione tecnica
-) Gestione e Rigenerazione di Territorio, Ambiente e Paesaggio Agro-Forestale

In tale contesto, anche in un approccio «One Health», le nuove tecnologie ed avanzamenti scientifici consentono di intervenire con forme di:

-) infrastrutture rurali e verdi
-) energie rinnovabili
-) spazi di transizione urbano-rurale
-) sistema del verde, incluso il verde tecnico
-) pareti verdi/tetti verdi
-) servizi ecosistemici e tutela della Biodiversità.

Il paesaggio viene riconosciuto come elemento fondamentale del patrimonio culturale e naturale d'Europa. Allo stesso modo è un fattore molto importante per la qualità della vita delle popolazioni, in ogni sua declinazione, ed è necessario provvedere alla sua tutela, gestione e pianificazione in ottica di sostenibilità nella sua accezione più ampia e con l'obiettivo di permettere alle popolazioni di godere di paesaggi “di qualità”.

In questa prospettiva, l'adozione di soluzioni come pareti e tetti verdi, in ambito sia urbano che zootecnico, rappresenta uno strumento significativo per migliorare l'estetica e la vivibilità degli spazi, svolgendo al contempo funzioni ecologiche e sociali rilevanti. Come riportato da Vitaliano et al. (2024), tali sistemi sfruttano la capacità naturale delle piante di assorbire, filtrare e sequestrare gli inquinanti, fornendo un approccio sostenibile al miglioramento della qualità dell'aria. Le pareti verdi, ad esempio, installate sulle facciate degli edifici, agiscono come veri e propri filtri viventi che intrappolano il particolato e assorbono i gas; quelle attive, dotate di sistemi di ventilazione integrati, amplificano ulteriormente il flusso d'aria attraverso la vegetazione e migliorano così il tasso di cattura degli inquinanti.

In definitiva, sistemi di verde urbano – che comprendono anche alberi, arbusti e siepi – agiscono come barriere e “spugne” naturali, capaci di migliorare la qualità dell'aria e si inseriscono pienamente nella logica della pianificazione sostenibile del paesaggio, contribuendo non solo alla mitigazione degli impatti ambientali, ma anche alla costruzione di un patrimonio urbano più salubre e vivibile (Senes et al., 2023b).

L'analisi territoriale svolta attraverso il GIS consente la costruzione di un sistema di valutazione delle emissioni di origine zootecnica esteso e spazializzato. I risultati di questa analisi evidenziano la distribuzione delle emissioni su scala locale, a partire da emissioni puntali derivanti dalle strutture di allevamento, evidenziando gli effetti su un'ampia area delle azioni dei singoli allevatori. Risulta così possibile identificare le aree in cui sono maggiormente necessarie strategie di mitigazione per ridurre l'impatto sull'ambiente (D'Urso et al., 2025c). Questo approccio potrebbe essere utile per i sistemi di supporto decisionale e offre un valido supporto alle autorità responsabili dell'applicazione della legislazione agroambientale.

Il concetto più ampio di valorizzazione dei sottoprodotti agro-industriali a livello territoriale è cruciale per la sostenibilità ambientale. I processi fermentativi consentono di valorizzare scarti non edibili, trasformando le biomasse residuali in biofertilizzanti e ammendanti per i suoli agricoli, capaci di favorire la crescita delle colture, migliorare la biodisponibilità dei nutrienti e stimolare le difese naturali delle piante. La sostituzione dei fertilizzanti industriali con compost da sottoprodotti agroindustriali, supportata da strumenti GIS per la pianificazione spaziale, riduce gli impatti ambientali a livello regionale e promuove una gestione efficiente e sostenibile dei rifiuti in un'ottica di economia circolare. L'integrazione di queste strategie di valorizzazione dei rifiuti, che mirano a “zero-waste”, riduce l'impronta ambientale complessiva, supportando indirettamente la sostenibilità delle aziende agricole.

La stima della distribuzione potenziale di una specie vegetale sul territorio rappresenta un passaggio fondamentale per valutare la biomassa disponibile. Tale distribuzione può essere ottenuta attraverso strumenti geostatistici e modelli di *machine learning* integrati con l'uso dei GIS (Leanza et al., 2022; Catalano et al., 2023a). Le analisi così ottenute consentono non solo di quantificare il potenziale energetico di un'area in relazione alle biomasse reperibili (Catalano et al., 2024), ma anche di supportare strategie di pianificazione territoriale e scenari di valorizzazione sostenibile delle risorse (Catalano et al., 2023b).

In tale ambito, le applicazioni GIS si configurano come strumenti strategici per l'ottimizzazione dell'intera filiera di valorizzazione dei sottoprodotti agro-industriali. Attraverso modelli dedicati, essi consentono di individuare le aree più idonee per l'installazione di impianti di digestione anaerobica, riducendo al minimo i costi logistici e gli impatti ambientali, grazie alla mappatura accurata delle biomasse disponibili. In questo modo è possibile pianificare una gestione territoriale integrata, che ottimizza la distribuzione delle risorse, la raccolta dei sottoprodotti e la loro trasformazione in un'ottica di sostenibilità ambientale ed economica. In quest'ottica, l'approccio GIS si integra con la prospettiva *One Health*, evidenziando come la gestione intelligente dei sottoprodotti agro-industriali generi benefici non solo ambientali ed economici, ma anche sanitari e sociali. La riduzione delle emissioni nocive, la prevenzione dell'inquinamento delle acque e il miglioramento della qualità del suolo contribuiscono infatti a proteggere la salute umana e animale, rafforzando il legame tra ecosistemi resilienti e benessere collettivo.

Ogni anno nel mondo vengono generati circa un miliardo di tonnellate di co-prodotti, sottoprodotti, residui, scarti e rifiuti agricoli, la cui gestione impropria rappresenta un rischio significativo per l'ambiente, soprattutto nelle aree rurali. Tuttavia, se valorizzati correttamente, questi materiali possono diventare risorse utili per nuovi cicli produttivi, come l'energia, l'edilizia o il *packaging* alimentare. La loro valorizzazione è centrale per la *Circular Economy*, obiettivo chiave del *Green Deal* europeo, che punta a un'economia a rifiuti zero entro il 2025 e a un continente a impatto climatico neutro entro il 2050 (Parlato and Pezzuolo, 2024; Parlato and Porto, 2020). Il corretto impiego dei rifiuti agricoli richiede comunque un approccio strutturato, che comprenda raccolta, stoccaggio, trattamento, trasferimento e utilizzo, supportato da conoscenze, politiche e incentivi

mirati. In questo contesto, il recupero degli scarti nel settore della bioedilizia permette non solo di ridurre la quantità di rifiuti prodotti, ma anche di creare un ciclo produttivo circolare, in cui i materiali di scarto vengono trasformati in componenti costruttivi innovativi. Questa strategia limita l'inquinamento e il consumo di risorse naturali vergini, migliorando la qualità dell'aria e dell'ambiente costruito, riducendo la domanda energetica degli edifici grazie alle proprietà termiche e acustiche dei materiali naturali e sostenendo la salute globale (Parlato & Pezzuolo, 2025). Naturalmente questi nuovi materiali da costruzione oltre alla sostenibilità devono garantire la rispondenza a tutti i requisiti normativi. In Figura 5 è riportato un campione in terra cruda (mix di argilla, limo e sabbia) e sottoprodotto agricolo, “vinacce”, sottoposto a caratterizzazione meccanica e fisica.



Figura 5 - Esempio di campione cilindrico in terra cruda e vinacce utilizzato per la caratterizzazione meccanica e fisica

Parallelamente, il riutilizzo dei materiali contribuisce anche alla tutela degli ecosistemi, preservando la biodiversità e riducendo l'erosione del suolo e la contaminazione di aria e acque. In questo quadro, l'Ingegneria Agraria e dei Biosistemi, occupandosi di tutte le categorie di servizi ecosistemici, risulta decisiva nella strategia «*One Health*», integrando salute ambientale, animale e umana. L'integrazione degli scarti nella bioedilizia rappresenta quindi un approccio sostenibile che coniuga benefici ambientali, economici e sociali, offrendo un modello replicabile per una gestione responsabile delle risorse e per la transizione verso economie a basso impatto ambientale.

Nella visione, fatta propria dalla Commissione Europea, le aree non antropizzate si configurano come una vera e propria infrastruttura di supporto alla vita dell'uomo, una matrice verde essenziale per lo sviluppo futuro della società umana, la cosiddetta “infrastruttura verde”, cioè una rete di aree naturali e seminaturali pianificata, progettata e gestita in modo da fornire un ampio spettro di servizi ecosistemici, sia in contesto rurale che urbano. La sua caratteristica fondamentale è la “multifunzionalità, cioè la capacità di fornire contemporaneamente e nello stesso luogo diversi “servizi ecosistemici”, intesi come “l'insieme dei benefici, diretti ed indiretti, che l'uomo trae dagli ecosistemi” (MEA, 2005).

Ragionare in termini di “infrastruttura verde” consente di investire risorse (economiche e umane) per un obiettivo e raggiungerne, invece, diversi: mitigazione di e adattamento ai cambiamenti climatici, gestione delle acque meteoriche (sia nella quantità che nella qualità), aumento della biodiversità, regolazione di temperatura e umidità in ambiente urbano, mitigazione dell'inquinamento atmosferico, creazione di ambienti più vivibili e a misura umana, miglioramento della salute e del benessere delle persone. Per raggiungere tali obiettivi, però, è necessario approcciarsi con visione strategica e metodi basati sull'evidenza scientifica alla pianificazione, progettazione, gestione e manutenzione di tali sistemi verdi. L'infrastruttura verde, poi, richiede di adottare un approccio sistemico e trasversale, invertendo la logica settoriale e, spesso, marginale relegata al territorio verde (Senes et al., 2025a, Senes et al., 2025b).

Come detto, l'Ingegneria Agraria e dei Biosistemi promuove una visione sistemica in cui, alle diverse scale e ai diversi livelli del processo di pianificazione, progettazione e gestione del territorio verde, le NBS siano sempre considerate come prioritarie, riconoscendone l'importante ruolo nella risposta ai cambiamenti climatici nonché i loro benefici sociali, economici e ambientali, così come sottolineato anche nella "Risoluzione sulle *Nature Based Solutions* per supportare lo Sviluppo Sostenibile" adottata dall'Assemblea delle Nazioni Unite per l'Ambiente (UNEA) nel marzo 2022. In figura 6 sono riportati due recenti realizzazioni sperimentali dove BrianzaAcque sta monitorando l'efficacia delle soluzioni adottate.

I servizi ecosistemici forniti dalla infrastruttura verde possono essere ricondotti a tre grandi categorie: servizi di approvvigionamento (cibo, acqua, materie prime, *ecc.*), i servizi di regolazione (del clima, del ciclo dell'acqua, degli habitat, *ecc.*), servizi culturali (paesaggio, attività ricreative e turismo, *ecc.*). In accordo con il MEA (2005), tutti i servizi ecosistemici contribuiscono, in vario modo, al benessere umano. L'Ingegneria Agraria e dei Biosistemi, occupandosi di tutte le categorie di servizi ecosistemici, risulta strategica nella strategia «*One Health*». In particolare, per quanto riguarda i servizi ecosistemici di regolazione, l'Ingegneria Agraria e dei Biosistemi fornisce un contributo decisivo nello sviluppo delle NBS per la gestione degli eventi estremi legati ai cambiamenti climatici (temperature ed acque meteoriche). I SuDS (*Sustainable Drainage Systems*), ad esempio, vengono pianificati e progettati utilizzando appositi software di modellazione, che tengono conto delle più recenti evidenze scientifiche.

Dal punto di vista dei servizi ecosistemici culturali, lo sviluppo (attraverso la pianificazione e progettazione) di *greenways* e di infrastrutture per la mobilità dolce consentono così alle persone, specie nel territorio rurale, di raggiungere e fruire in modo sostenibile del paesaggio e del capitale naturale, garantendo benessere all'ambiente, alle popolazioni locali e ai visitatori. Infine, la progettazione basata sull'evidenza scientifica di "*healing landscapes*" consente di valorizzare gli effetti sulla salute e sul benessere del contatto con la natura.



Figura 6 – Esempi di NBS per il drenaggio delle acque meteoriche in contesto urbano. Bacino (foto a sinistra) e aiuola (foto a destra) di ritenzione lungo via Matteotti a Bovisio Masciago (MB).

Conclusioni

L'ingegneria agraria e dei biosistemi è un pilastro fondamentale della strategia "*One Health*", in quanto fornisce soluzioni pratiche e tecnologiche che collegano la salute degli esseri umani, degli animali e dell'ambiente. Sebbene il concetto di *One Health* sia spesso discusso in termini di medicina e biologia, è l'applicazione dei principi ingegneristici che spesso rende queste strategie una realtà.

Bibliografia

- Aarnink, A. J. A., & Wagemans, M. J. M. (1997). Ammonia volatilization and dust concentration as affected by ventilation systems in houses for fattening pigs. *Transactions of the ASAE*, 40(4), 1161-1170.
- Berckmans D. 2007. Precision livestock farming. *Computers and Electronics in Agri-culture* 62: 1.
- Blanes-Vidal, V., Hansen, M. N., Pedersen, S., & Rom, H. B. (2008). Emissions of ammonia, methane and nitrous oxide from pig houses and slurry: Effects of rooting material, animal activity and ventilation flow. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 124(3-4), 237-244.
- Burgués, J., Marco, S. (2020). Environmental chemical sensing using small drones: A review. *Science of the total environment*, 748, 141172.
- Catalano, G. A., D'Urso, P. R., Maci, F., & Arcidiacono, C. (2023a). Influence of Parameters in SDM Application on Citrus Presence in Mediterranean Area. *Sustainability*, 15(9), 7656. <https://doi.org/10.3390/su15097656>
- Catalano, G. A., Maci, F., D'Urso, P. R., & Arcidiacono, C. (2023b). GIS and SDM-Based Methodology for Resource Optimisation: Feasibility Study for Citrus in Mediterranean Area. *Agronomy*, 13(2), 549. <https://doi.org/10.3390/agronomy13020549>
- Catalano, G.A., D'Urso, P.R., Arcidiacono, C. (2024). Predicting potential biomass production by geospatial modelling: The case study of citrus in a

- Mediterranean area, Ecological Informatics, Volume 83, 2024, 102848, <https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2024.102848>
- Cinardi, G., Vitaliano, S., Fasciana, A., Fragalà, F., La Bella, E., Santoro, L. M., D'Urso, P. R., Baglieri, A., Cascone, G., & Arcidiacono, C. (2025). Preliminary Analysis on Bio-Acidification Using Coffee Torrefaction Waste and Acetic Acid on Animal Manure from a Dairy Farm. *Agriculture*, 15(9), 948. <https://doi.org/10.3390/agriculture15090948>
- Costa, A. (2017). Ammonia concentrations and emissions from finishing pigs reared in different growing rooms. *Journal of environmental quality*, 46(2), 255-260.
- D'Urso, P.R., Arcidiacono, C., Valenti, F., Janke, D., Cascone, G. (2023). Measuring ammonia concentrations by an infrared photo-acoustic multi-gas analyser in an open dairy barn: Repetitions planning strategy. *Computers and Electronics in Agriculture*, Volume 204, 2023, 107509, ISSN 0168-1699, <https://doi.org/10.1016/j.compag.2022.107509>.
- D'Urso P.R., Arcidiacono C., Cascone G. (2024). Ammonia and greenhouse gas distribution in a dairy barn during warm periods. *Front. Agr. Sci. Eng.*, 2024, 11(3): 428-441 DOI:10.15302/J-FASE-2024542
- D'Urso P.R., Arcidiacono C., Cascone G. (2025a) Gas concentration monitoring techniques by using an infrared photo-acoustic multi-gas analyser and low-cost devices in an open dairy barn. *J Anim Sci Technol* 2025;67(3):651-665. <https://doi.org/10.5187/jast.2024.e33>
- D'Urso, P. R., Finocchiaro, A., Cinardi, G., & Arcidiacono, C. (2025b). In-Field Performance Evaluation of an IoT Monitoring System for Fine Particulate Matter in Livestock Buildings. *Sensors*, 25(16), 4987. <https://doi.org/10.3390/s25164987>
- D'Urso, P.R., Cinardi, G., Arcidiacono, C., Cascone, G. (2025c). Distribution of Gaseous Emissions from Cattle Housing at Regional Level. In: Sartori, L., Tarolli, P., Guerrini, L., Zuecco, G., Pezzuolo, A. (eds) *Biosystems Engineering Promoting Resilience to Climate Change - AIIA 2024 - Mid-Term Conference. MID-TERM AIIA 2024. Lecture Notes in Civil Engineering*, vol 586. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-84212-2_122
- Finocchiaro, A., Vitaliano, S., Cinardi, G., D'Urso, P. R., Cascone, S., & Arcidiacono, C. (2025). Green Wall System to Reduce Particulate Matter in Livestock Housing: Case Study of a Dairy Barn. *Buildings*, 15(13), 2280. <https://doi.org/10.3390/buildings15132280>
- Finzi, A., Mautone, A., Becciolini, V., Mattia, A., Rossi, G., Conti, L., Vitaliano S., D'Urso P. & Arcidiacono, C. (2024). Emission-controlled intensive livestock housing systems for ecological transition: innovative measuring, mitigating and mapping strategies (EMILI). In Book of abstracts Padova 2024 Mid-term Conference (pp. 15-15). Associazione Italiana di Ingegneria Agraria.
- Fumagalli N., Senes G., Ferrario P.S., Corsini D., Brenna L., 2025. "Assessing Ecosystem Services Provided by Rural and Urban Green Areas at Territorial Scale. The Case of the Local Park GruBria (Monza and Milan Provinces, Italy)". *Lecture Notes in Civil Engineering*, 586. DOI: 10.1007/978-3-031-84212-2_138
- Guarino, M., Fabbri C., Navarotto, P., Valli, L., Moscatelli, G., Rossetti, M., and Mazzotta, V. 2003. Ammonia, Methane and Nitrous Oxide Emissions and Particulate Matter Concentrations in Two Different Buildings for Fattening Pigs. *Proceedings of the International Symposium on Gaseous and Odour Emissions from Animal Production Facilities*, no. January: 140-49.
- Leanza, P.M., Valenti, F., D'Urso, P.R., Arcidiacono, C.: A combined MaxEnt and GIS-based methodology to estimate cactus pear biomass distribution: application to an area of southern Italy. *Biofuels Bioprod. Biorefining* 16, 54-67 (2022). ISSN: 1932-104X. <https://doi.org/10.1002/bbb.2304>
- Ma, W., Ji, X., Ding, L., Yang, S. X., Guo, K., & Li, Q. (2024). Automatic monitoring methods for greenhouse and hazardous gases emitted from ruminant production systems: A review. *Sensors*, 24(13), 4423.
- Mattia, A., Merlini, M., Squillace, F., Rossi, G., Conti, L., & Becciolini, V. (2025). Assessment of CO2 emission rate from extended area sources with WindTrax model in a dairy cattle farm. *AGRONOMY RESEARCH*, 1-15. Mautone, A., & Finzi, A. (2024). Air quality monitoring in piggeries through an IoT gas and environmental sensors device. In *Precision Livestock Farming 2024* (pp. 1728-1736). EA-PLF. ISBN: 979-12-210-6736-1
- Mautone, A., & Finzi, A. (2024). Air quality monitoring in piggeries through an IoT gas and environmental sensors device. In *Precision Livestock Farming 2024* (pp. 1728-1736). EA-PLF. ISBN: 979-12-210-6736-1
- MEA - Millennium Ecosystem Assessment. "Ecosystem and Human Well being: A Framework for Assessment". Island Press, 2005
- Merlini, M., Rossi, G., Barbari, M., Becciolini, V., & Mattia, A. (2025). G-eko, monitoring system for decision support in livestock farms using UAV and self-designed control units. *Tesi di dottorato. Università degli Studi di Firenze*.
- Parlato, M.C.M., Pezzuolo, A., 2025. Sustainable Reuse of Traditional Rural Buildings: Review, Conceptual Framework, and Future Research Directions. https://doi.org/10.1007/978-3-031-84212-2_127
- Parlato, M.C.M., Pezzuolo, A., 2024. From Field to Building: Harnessing Bio-Based Building Materials for a Circular Bioeconomy. *Agronomy* 14. <https://doi.org/10.3390/agronomy14092152>
- Parlato, M.C.M., Porto, S.M.C., 2020. Organized framework of main possible applications of sheep wool fibers in building components. *Sustainability* (Switzerland) 12. <https://doi.org/10.3390/su12030761>
- Philippe, F. X., Cabaraux, J. F., & Nicks, B. (2011). Ammonia emissions from pig houses: Influencing factors and mitigation techniques. *Agriculture, ecosystems & environment*, 141(3-4), 245-260.
- Picuno P. (2018). *Agriculture: Polymers in Crop Protection*. Encyclopedia of Polymer Applications, Mishra, M. (Ed.), Vol.1, pp 67-92. Set. Boca Raton: CRC Press.
- Picuno C.A., Godosi Z., Picuno P. (2022). Implementing a landscape information modelling (LIM) tool for planning leisure facilities and landscape protection. *Proceedings of the Conference on: "Public Recreation and Landscape Protection: with the environment hand in hand..."*, Křtiny (Czech Republic), 9-10 May 2022, 186-190.
- Picuno P. (2022). Farm Buildings as Drivers of the Rural Environment. *Frontiers in Built Environment*, 8: 693876. doi: 10.3389/fbuil.2022.693876
- Pigni, A., Tugnolo, A., Beghi, R., Cocetta, G. and Finzi A. 2021. Rapid and Continuous Monitoring of Air Ammonia Concentration in Dairy Milking Parlors. 2021 IEEE International Workshop on Metrology for Agriculture and Forestry, MetroAgriFor – Proc., 167-171.
- Provolo, G., Brandolese, C., Grotto, M., Marinucci, A., Fossati, N., Ferrari, O., Beretta, E., & Riva, E. (2025). An Internet of Things framework for monitoring environmental conditions in livestock housing to improve animal welfare and assess environmental impact. *Animals*, 15(5), 644.
- Roldán, J.J., Joossen, G., Sanz, D., del Cerro, J., Barrientos, A., (2015). Mini-UAV based sensory system for measuring environmental variables in greenhouses. *Sensors* (Switzerland) 15, 3334-3350.
- Senes G., Bonsignori R., 2022. SuDS - Sustainable Drainage Systems. Soluzioni progettuali tipo di infrastrutture verdi per la gestione delle acque meteoriche. Il Verde Editoriale, ISBN 9788886569415.
- Senes G., Parretta C., Fumagalli N., Tassinari P., Torreggiani D., 2023. "Soft mobility network for the enhancement and discovery of the rural landscape: definition of a masterplan for Alto Ferrarese (Italy)". *Land*, vol. 12, p. 1-24. Doi: 10.3390/land12030527.
- Senes G., Fumagalli N., Ferrario P.S., Rovelli R., Riva F., Sacchi G., Gamba P., Ruffini G., Redondi G., 2023. "Assessment of the ecosystem services given by rural and urban green areas to preserve high quality territories from land take: the case of the Province of Monza Brianza (Italy)". *Journal of Agricultural Engineering*. Doi: 10.4081/jae.2023.1526
- Senes G., Ferrario P.S., Riva F., Fumagalli N., Corsini D., Donati A., Contestabile L., Fondi S., Rovelli R., 2025. "Active Tourism and Intermodality: Railway Stations as Soft Mobility Hubs-An Assessment Framework for Italy". *Land* 2025, 14(2), 380; Doi: 10.3390/land14020380
- Senes G., Lussana G., Ferrario P.S., Rovelli R., Pedrazzoli A., Corsini D., Fumagalli N., 2025. "How Land-Take Impacts the Provision of Ecosystem Services—The Case of the Province of Monza and Brianza (Italy)". *Land*, 14, 1700. DOI: 10.3390/land14091700
- Tugnolo, A., Beghi, R., Cocetta, G., and Finzi, A. 2022. An Integrated Device for Rapid Analysis of Indoor Air Quality in Farms: The Cases of Milking Parlors and Greenhouses for Baby Leaf Cultivation. *Journal of Cleaner Production* 369 (August): 133401.
- Tullo, E., Finzi, A., & Guarino, M. 2019. Environmental impact of livestock farming and Precision Livestock Farming as a mitigation strategy. *Science*

of the total environment. 650: 2751-2760.

- Vinković, K., Andersen, T., de Vries, M., Kers, B., van Heuven, S., Peters, W., Hensen, A., van den Bulk, P. & Chen, H. (2022). Evaluating the use of an Unmanned Aerial Vehicle (UAV)-based active AirCore system to quantify methane emissions from dairy cows. *Science of The Total Environment*, 831, 154898.
- Vitaliano, S., Cascone, S., & D'Urso, P. R. (2024). Mitigating Built Environment Air Pollution by Green Systems: An In-Depth Review. *Applied Sciences*, 14(15), 6487. <https://doi.org/10.3390/app14156487>.