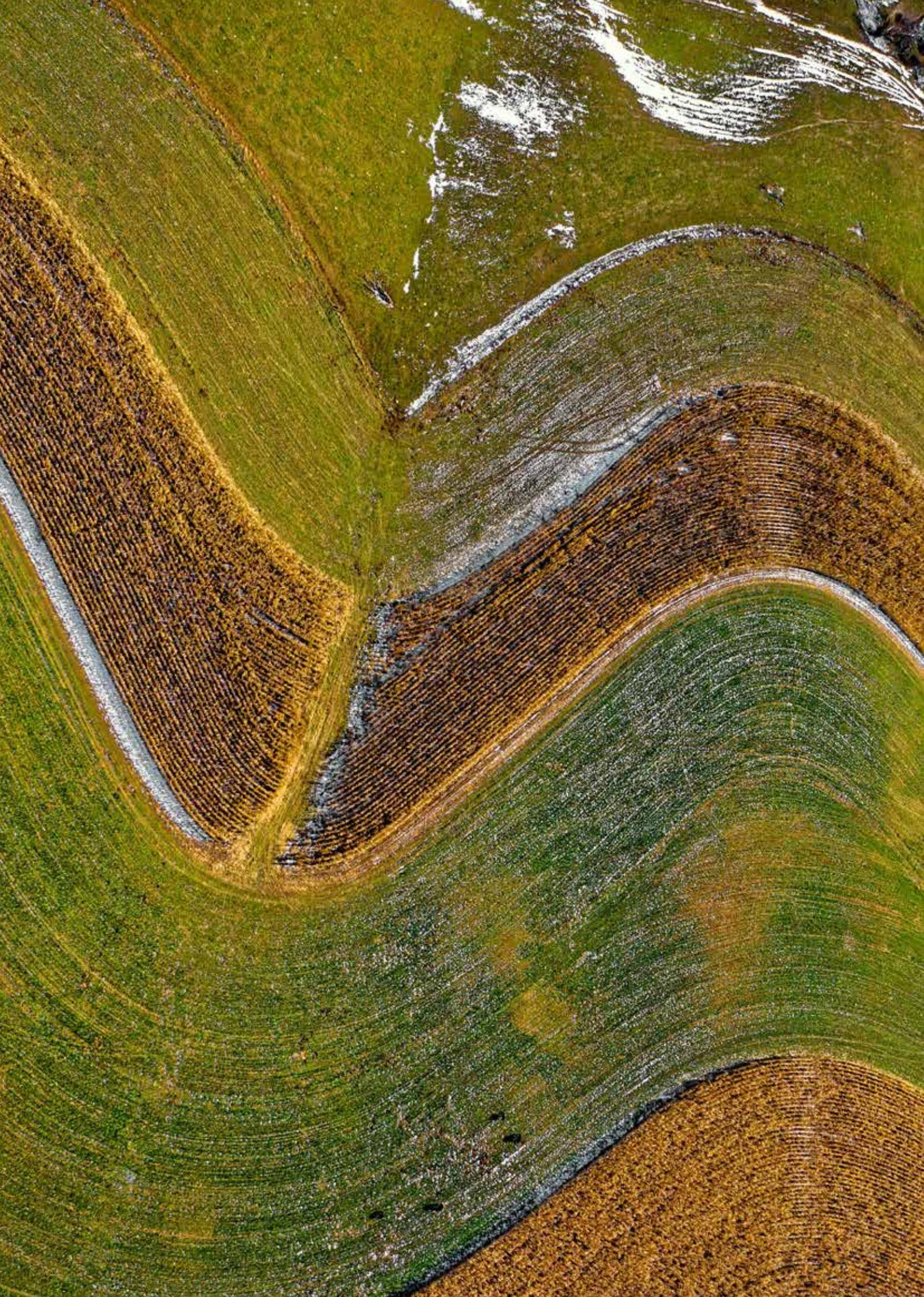




Agricoltura 4.0 e Biogas: soluzioni innovative e sostenibili

**GUIDA
TECNICA**

Realizzata nell'ambito del Gruppo Operativo BIOGAS4.0, coordinato dal FEASR. Operazione 16.1.01 "Gruppi Operativi PEI" del Programma di Sviluppo Rurale 2014-2020 della Regione Lombardia



SOMMARIO

1. Il PNRR a sostegno dell'agricoltura 4.0	4
2. La digestione anaerobica in agricoltura: il biogas e il digestato	6
3. Tecnologie 4.0 a supporto di pratiche agricole sostenibili	9
4. Tecnologia NIR per un'agricoltura più efficace	10
5. Agricoltura di precisione e digestato da biogas: sinergia vincente	12
6. Mappe di prescrizione e rateo variabile: come e perché	14

IL PNRR A SOSTEGNO DELL'AGRICOLTURA 4.0

Il **Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza (PNRR)** è il piano di investimenti e riforme del Governo italiano che si inserisce all'interno del programma Next Generation EU (NGEU), il pacchetto da 750 miliardi di euro concordato dall'Unione Europea in risposta alla crisi pandemica. Il PNRR rappresenta per l'Italia un'interessante opportunità di crescita e sviluppo per garantire la **transizione ecologica** e il rilancio verso un'**economia più sostenibile** nell'arco temporale 2021-2026. Il Piano si concentra su tre assi di intervento condivisi a livello europeo e che puntano a fare leva su digitalizzazione e innovazione, transizione ecologica e inclusione sociale. Tra i provvedimenti del Piano è incluso lo stanziamento di 5.2 miliardi di euro per il **comparto agricolo**, con un focus particolare sull'**innovazione tecnologica**, utile per rendere il settore più competitivo, resiliente e sostenibile.

In questo senso si vuole incentivare la diffusione di investimenti in **agricoltura 4.0** e quindi nelle **tecnologie di agricoltura di precisione**, incoraggiando gli interventi diretti a migliorare la sostenibilità del processo produttivo e offrire un ammodernamento nel comparto della meccanica agricola. Il mercato italiano dell'agricoltura 4.0 ha generato nel 2020 un fatturato di circa 540 milioni di euro, di cui il 73% derivante dal comparto della meccanica agricola, comparto trainante per il mercato dell'agricoltura 4.0 in Italia. Tuttavia, il potenziale dell'agricoltura 4.0 non si limita solo allo sviluppo di tecnologie per l'innovazione meccanica, ma sfrutta anche il potenziale dell'innovazione digitale e tecnologica per migliorare la gestione della risorsa idrica e dei nutrienti nel terreno, per migliorare la tracciabilità della filiera e ottenere quindi benefici in termini di efficienza dei processi. Le potenzialità dell'Agricoltura 4.0 non riguardano solo gli attori della produzione primaria, al fine di migliorare le performance e la sostenibilità all'interno delle proprie realtà, ma anche gli attori coinvolti nell'intera filiera agroalimentare.

Con il PNRR, quindi, si punta ad avviare una completa revisione dell'intero settore agroalimentare nazionale. Infatti, il mercato italiano dell'**Agritech** si avvale della disponibilità di **538 soluzioni tecnologiche innovative** di agricoltura 4.0 dedicate alle coltivazioni in campo, soluzioni che porteranno a un'accelerazione tecnologica delle imprese agricole verso il pieno raggiungimento degli obiettivi di economia circolare, sostenibilità delle filiere agroalimentari e miglioramento della competitività.



LA DIGESTIONE ANAEROBICA IN AGRICOLTURA: IL BIOGAS E IL DIGESTATO

Il processo biologico di digestione anaerobica con produzione di biogas ha il grande pregio di poter essere alimentato con biomasse di natura e caratteristiche molto diverse, ferma restando la diversa e specifica propensione di ciascuna alla conversione biologica in condizioni di assenza di ossigeno

Nel comparto agricolo le matrici organiche prevalentemente utilizzate per la produzione di biogas sono: gli effluenti zootecnici generati dagli animali da allevamento, i sottoprodotti derivati dalla trasformazione delle produzioni vegetali, i sottoprodotti di origine animale, i residui colturali e le colture, solitamente ottenute in doppio raccolto.

Dal punto di vista formale si ricorda che negli impianti di biogas agricoli che, come tali sono autorizzati a ritirare solo "biomasse non-rifiuto" i sottoprodotti di origine agroindustriale sopra citati sono ammessi nelle diete di alimentazione esclusivamente se rispettano i requisiti previsti dall'art. 184 bis del DLgs 152/06 per la loro gestione come "sottoprodotto" anziché come "rifiuto".

Nell'impianto di digestione anaerobica le biomasse agricole e agro-industriali in ingresso sono degradate per via biologica grazie al processo di demolizione della sostanza organica che si instaura "spontaneamente" a seguito dello sviluppo della flora microbica anaerobica indotto dalle condizioni rigorosamente anossiche garantite nei digestori.

6

I prodotti che si ottengono sono:

- il **biogas**, il prodotto principale formato principalmente da CH_4 (almeno il 50%) e CO_2 , (almeno il 40%), cioè da carbonio, idrogeno e ossigeno (elementi "catturati" dalle colture dall'ambiente di coltivazione - aria, acqua, suolo), e da tracce di altri gas quali ad esempio idrogeno, idrogeno solforato, ammoniaca, ammine e vapore, da avviare a valorizzazione energetica;
- il **digestato**, un materiale che, rispetto alle biomasse di partenza, si presenta omogeneo, con un tenore di umidità più elevato perché parte della sostanza secca è stata degradata biologicamente, cioè demolita dai batteri per la produzione di biogas. La sostanza organica che rimane risulta più stabile e contiene elementi della fertilità, quali azoto, fosforo e potassio, che possono tornare utile al suolo per fornire nutrimento alle colture.

Il biogas

La trasformazione del biogas in energia disponibile può avvenire attraverso sistemi diversi:

- per combustione diretta in caldaia (con produzione di sola energia termica);
- per combustione in cogeneratori per la produzione combinata di energia elettrica e di energia termica;
- per purificazione a biometano: il biogas può essere purificato delle componenti gassose non desiderate in impianti ad hoc e trasformato in biometano al 97-98%. Si tratta di un ottimo biocombustibile che può essere impiegato per autotrazione o per altri usi, direttamente e/o dopo immissione nella rete del gas naturale, molto diffusa e capillare sul territorio nazionale, soprattutto nelle regioni del bacino padano.



Il digestato

Il digestato è il "sottoprodotto" del processo di digestione anaerobica e può essere utilizzato come materiale fertilizzante sulle principali colture agrarie. La digestione anaerobica, infatti, determina una riduzione della sostanza organica meno stabile, ma non riduce la dotazione di azoto, fosforo e potassio della biomassa caricata nel digestore. In particolare, durante il processo di digestione anaerobica si assiste alla mineralizzazione di parte dell'azoto organico in azoto ammoniacale, con una ripartizione che dipende strettamente dalle caratteristiche iniziali della biomassa; è chiaro che la tipologia di biomassa condiziona anche la quantità degli altri nutrienti che si ritrovano nel digestato.

Il tenore di sostanza secca è variabile generalmente tra il 2% e il 10% a seconda delle matrici caricate (più alto laddove si caricano insilati) e il tenore di azoto può arrivare a valori di 5-7 kg per tonnellata. Nei digestati derivanti da effluenti zootecnici la quota maggiore dell'azoto è in forma ammoniacale, mentre per quelli derivanti da biomasse vegetali può ancora prevalere l'azoto di tipo organico (calcolabile come la quota dell'azoto totale che non è ammoniacale).

Infine si rammenta che, rispetto ad altre matrici organiche portate in campo, il digestato:

- ha caratteristiche igienico-sanitarie nettamente migliorate rispetto agli effluenti zootecnici tal quali;
- contiene sostanza organica stabilizzata, caratterizzata da un rapporto tra gli elementi carbonio e azoto (C/N) che è generalmente molto vicino a quello che di norma si riscontra nella sostanza organica dei suoli sani (da 8 a 14). Di conseguenza, il ritorno al suolo di un materiale come il digestato, che contiene carbonio piuttosto recalcitrante alla degradazione e azoto in una proporzione simile a quella che si riscontra nella sostanza organica del suolo, favorisce la formazione di humus stabile senza generare fenomeni di "fame d'azoto" che invece spesso conseguono all'apporto al suolo di soli residui colturali (con rapporti C/N tra 50 e 100, con carbonio labile) i quali da soli non possono garantire significativi e duraturi incrementi di sostanza organica nei terreni.





TECNOLOGIE 4.0 A SUPPORTO DI PRATICHE AGRICOLE SOSTENIBILI

Promuovere l'agricoltura sostenibile, arrestare il cambiamento climatico e il degrado del suolo, fermare la perdita di biodiversità, garantire la sicurezza alimentare e, al contempo, contrastare disuguaglianze sociali, sono solo alcune delle sfide in cui l'agricoltura contemporanea gioca un ruolo cruciale.

In questo scenario, l'innovazione tecnologica si conferma l'alleato decisivo del settore, nella produzione e nella distribuzione di prodotti agricoli. L'agricoltura contemporanea è oggi un modello virtuoso da seguire, per ottimizzare gli aspetti più cruciali dell'intera filiera agricola. L'innovazione incontra sinergicamente le tecnologie agricole con l'obiettivo di migliorare la produttività dell'attività agricola, la qualità del prodotto e apportare migliorie dal punto di vista gestionale rendendo l'intera supply chain sostenibile sotto tutti gli aspetti. È così che l'**agricoltura 4.0** diventa il risultato dell'applicazione di una serie di tecnologie innovative nel campo dell'agrifood e può essere considerata l'ulteriore evoluzione dell'**agricoltura di precisione**. Con il termine agricoltura di precisione si intendono, infatti, tutti gli interventi attuati in agricoltura grazie ad un'analisi precisa e puntuale di dati e informazioni raccolte e trasmesse tramite strumenti e tecnologie avanzate. Quando parliamo di agricoltura 4.0, parliamo di uso dell'**Internet of Things (IoT)**, dei **Big Data**, dell'**Intelligenza Artificiale** e della **Robotica** per ampliare, velocizzare e rendere più efficienti le attività che interessano l'intera filiera produttiva. L'obiettivo di queste tecnologie è quello di offrire nel modo più mirato possibile il massimo supporto all'agricoltore nel processo decisionale relativo alla propria attività e al rapporto con gli altri soggetti della filiera. Lo scopo finale è quello di **umentare la profittabilità e la sostenibilità economica, ambientale e sociale dei processi agricoli**.

Sono innumerevoli le iniziative di sostenibilità attuate dalle imprese agricole al giorno d'oggi. Il 31.7% delle imprese adottano tecnologie produttive e gestionali con lo scopo di migliorare l'impatto ambientale. Il 14% delle imprese sfrutta prevalentemente la meccanizzazione di precisione per la semina e la lavorazione del terreno e l'utilizzo di sistemi di monitoraggio avanzato e mappatura di coltivazioni tramite sensori, satelliti e droni. Il 2.8% hanno avviato sistemi di automazione e robotizzazione delle attività agricole¹.

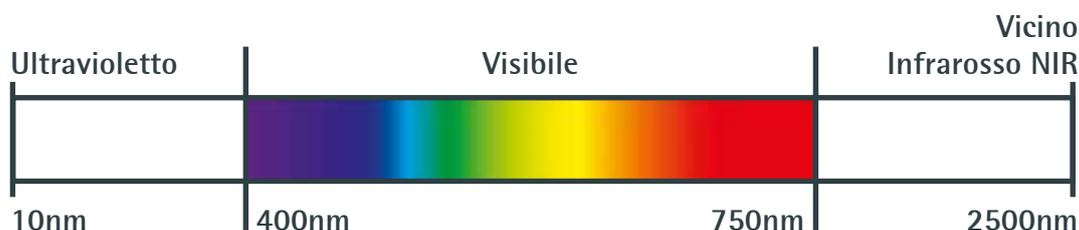
Insomma, le imprese che adottano pratiche di agricoltura innovative e sostenibili riconoscono impatti positivi largamente superiori alla media, ottenendo vantaggi in termini di risparmio economico, abbattimento delle emissioni di CO₂ nell'atmosfera e riduzione dei fertilizzanti chimici.

¹ Rapporto Agricoltura100, 2022

TECNOLOGIA NIR PER UN'AGRICOLTURA PIÙ EFFICACE

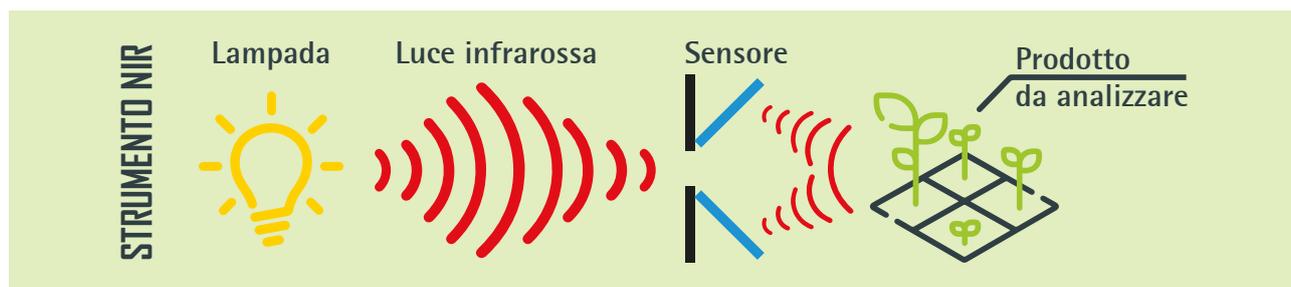
La spettroscopia NIR (Near Infrared Reflectance) si basa sul principio che i composti chimici dei prodotti agricoli e dei reflui assorbono energia a diverse lunghezze d'onda quando vengono colpite dalla luce infrarossa. Questa banda spettrale a noi non visibile è racchiusa fra le lunghezze d'onda di 750 e 2500nm che risulta essere vicina alla banda visibile (400-750nm) a noi conosciuta (Figura 1).

Figura 1: Spettro della luce visibile e NIR



Dal punto di vista pratico quei gruppi funzionali, non sono altro che i costituenti dei principali nutrienti organici, quali proteine, zuccheri, olio e grassi, amido, fibra, ma anche acqua e ammoniaca. Quando un prodotto viene irraggiato con luce infrarossa (Figura 2), questo in parte assorbe l'energia infrarossa e in parte la riflette quasi come uno specchio. L'energia non assorbita viene riflessa e misurata dal sensore. L'assorbanza alle diverse lunghezze d'onda viene calcolata per differenza fra l'energia irraggiata e quella riflessa ed è proporzionale alla quantità dei nutrienti presenti nel prodotto oggetto di analisi permettendoci di quantificarli.

Figura 2: Schema di sensore NIR



I sofisticati spettrometri NIR da laboratorio separano le lunghezze d'onda NIR grazie all'uso di componenti ottici in continuo movimento, che garantiscono una elevatissima accuratezza, ma che non tollerano alcuna vibrazione e quindi non sono idonei ad essere trasportati o installati su macchine operatrici. Circa 20 anni fa è stata introdotta una nuova tipologia di strumenti quelli a batteria di diodi (Diode Array) caratterizzati da non avere nessuna parte in movimento e con una velocità di scansione elevatissima arrivando a raccogliere anche più di 100 letture al secondo.

Questa tipologia di spettrometri ultrarapidi e robusti ha permesso lo sviluppo di strumentazioni che ora troviamo montate su strumenti portatili, ma anche su trinciatrici, mietitrebbie e macchine per lo spandimento liquami. La principale importanza dell'utilizzo di questa tecnologia risiede proprio nella possibilità di fornire dati analitici in tempo reale, che consentono nel caso delle macchine da raccolta di conoscere il valore delle biomasse o nel caso dei reflui e digestati per distribuire i corretti quantitativi di azoto al fine di ottimizzare le produzioni di biomasse nel pieno rispetto ambientale.

Per ottenere l'analisi dei prodotti è però necessario che le misurazioni degli spettri NIR vengano convertite in quantitativi di nutrienti. Questo è possibile grazie alle calibrazioni, ossia dei modelli matematici che interpretano gli spettri ed è solo grazie allo sviluppo di calibrazioni specifiche per ogni prodotto che possiamo ottenere risultati analitici accurati.

Una delle applicazioni che recentemente si è sviluppata maggiormente, è proprio quella che riguarda il monitoraggio dei nutrienti contenuti nei reflui zootecnici e nei digestati, nel loro utilizzo agronomico quali ammendanti. Secondo le normative europee (direttiva nitrati) lo spandimento dei reflui deve prestare attenzione ai quantitativi di azoto (N) che possono essere effettuati entro quantitativi stabiliti in relazione alla vulnerabilità dei terreni. Per questo motivo la quantità di reflui che possono essere distribuiti dipendono dal loro contenuto di N.

I sensori NIR applicati sulle botti di distribuzione reflui possono rilevare istantaneamente il contenuto di N e quindi poter decidere il quantitativo da spandere in relazione ai fabbisogni agronomici rispettando le norme ambientali.

Al fine di assicurare la bontà di questi sensori, da qualche anno l'ente certificatore tedesco delle macchine operatrici in campo agricolo (DLG), ha avviato delle valutazioni di questi sensori NIR che vengono testati con procedure specifiche e certificati per i diversi parametri (Sostanza secca, N totale, N ammoniacale, P_2O_5 e K_2O) e per le diverse tipologie di reflui (Tabella 1).

Tabella 1: Esempi di Certificazione DLG di strumenti NIR per l'analisi di reflui zootecnici e digestati

 <p>DINAMICA GENERALE S.P.A. EVO NIR 4.0 WITH SW 4.6.3.38 AND CALIBRATION MODEL 910</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Ingredients in mixed manure: N_{Total}, NH₄-N, K₂O ✓ Ingredients in liquid digestate: TM, N_{Total}, P₂O₅, K₂O <p>DLG Test Report 7235</p>	 <p>TOPCON AGRICULTURE LMS 20-NIR SENSOR MIT KALIBRATIONSMODELL V14.3.1</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Inhaltsstoffe in Rindergülle: TM, N_{Gesamt}, NH₄-N, P₂O₅, K₂O ✓ Inhaltsstoffe in Schweinegülle: TM, N_{Gesamt}, NH₄-N, P₂O₅ ✓ Inhaltsstoffe in Mischgülle aus Rinder- und Schweinegülle: TM, N_{Gesamt}, P₂O₅, K₂O ✓ Inhaltsstoffe in flüssigem Gärrest: TM, N_{Gesamt}, NH₄-N, P₂O₅ <p>DLG-Prüfbericht 7141</p>
 <p>BSA GMBH SIGNO ID 4.2</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Inhaltsstoffe in Rindergülle: TM, N_{Gesamt}, NH₄-N, K₂O ✓ Inhaltsstoffe in Schweinegülle: TM, N_{Gesamt}, K₂O ✓ Inhaltsstoffe in flüssigem Gärrest: TM, N_{Gesamt}, NH₄-N, K₂O <p>DLG-Prüfbericht 7120</p>	 <p>JOHN DEERE HARVESTLAB 3000 (SW 132-LKS 05/18)</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Ingredients in liquid digestate: N_{total}, NH₄-N, K₂O <p>DLG Test Report 6887</p>

AGRICOLTURA DI PRECISIONE E DIGESTATO DA BIOGAS: SINERGIA VINCENTE

Nell'autunno 2019 è stato avviato il progetto *Biogas4.0 – Agricoltura di precisione 4.0 e digestato da biogas: un binomio vincente dal punto di vista sia ambientale che economico*, progetto finanziato dal FEASR nell'ambito del PSR 2014-2020 di Regione Lombardia e di cui il **Consorzio Italiano Biogas – CIB** ne è il capofila. Biogas 4.0 si propone di massimizzare la produttività, l'efficienza, la competitività e la sostenibilità dell'agricoltura cerealicola lombarda.

L'agricoltura è uno dei settori trainanti dell'economia italiana; è il pilastro del sistema agroalimentare, un'industria chiave per rafforzare la competitività del Paese². La Lombardia è la prima regione italiana a registrare un Pil agricolo pari a 7.7 miliardi di euro sui 57 miliardi a livello nazionale e per valore della trasformazione con 3.6 miliardi di euro sui 31 miliardi generati in Italia³.

Questo a dimostrazione del fatto che sostenibilità e innovazione sono fortemente connesse.

Il progetto propone e incentiva l'utilizzo del **digestato** derivante da **biogas** per la **fertilizzazione organica del terreno**, con lo scopo di perfezionare un **modello colturale** basato sulla **sostenibilità agronomica** che massimizzi l'output economico delle aziende agricole coinvolte. Questo significa in primis minimizzare gli impatti ambientali della filiera agricola a fronte di una produzione ad alta efficienza che mira a trarre dall'esperienza in campo i vantaggi economici e ambientali di un approccio integrato nell'uso e sfruttamento di suolo, fertilizzanti e biomasse.

Le soluzioni tecnologiche per rendere l'agricoltura più efficiente e sostenibile sono ormai consolidate e il PNRR sta mettendo a disposizione risorse importanti per agevolare la transizione delle imprese agricole verso l'adozione di questo modello. Le aziende agricole partner del progetto hanno colto un'importante opportunità individuando la strategia più efficace per promuovere un'agricoltura più produttiva e performante grazie all'utilizzo di tecnologie avanzate di agricoltura di precisione. Le soluzioni tecnologiche adottate, quali **tecnologia GPS** per la mappatura e georeferenziazione dei terreni, **mappe di prescrizione** del terreno per ottimizzare gli input colturali, la semina a **rateo variabile** per limitare lo spreco di semente, e la **tecnologia NIR** per la distribuzione del digestato per uniformare gli apporti di fertilizzante, hanno permesso alle aziende agricole di ottenere una risposta concreta e misurabile dal punto di vista economico, agronomico ed ambientale.

² Rapporto Agricoltura100, 2022

³ Lombardia, pronti 400 milioni per il Psr del 2021-2022, Terra&Vita, 2021



MAPPE DI PRESCRIZIONE E RATEO VARIABILE: COME E PERCHÉ

Secondo i principi dell'Agricoltura di Precisione (AdP) la conoscenza della variabilità spaziale del terreno è il punto cardine da cui partire per gestire in modo efficiente il terreno agricolo e le colture e massimizzare, quindi, la produzione. Dal punto di vista agronomico, esistono svariate tecnologie che è possibile adottare per gestire il terreno agricolo e ridurre la variabilità all'interno del campo per rendere la resa uniforme. Le mappe di prescrizione sono lo strumento dell'agricoltura di precisione che permette di eseguire concimazioni a rateo variabile, con l'obiettivo di ottimizzare la dose di concime. Le mappe di prescrizione consentono di personalizzare e stabilire una dose variabile di concime (kg/ha) da applicare a ciascuna zona del proprio campo in base alle informazioni contenute nelle mappe. Le singole zone vengono individuate grazie all'elaborazione agronomica delle mappe multispettrali (NDVI) che rilevano le diverse zone di vigoria grazie all'elaborazione di indici vegetativi. Questi strumenti sono un importante input dell'agricoltura di precisione che permette di analizzare gli stress vegetativi a cui le piante sono sottoposte, quali ad esempio stress idrici, carenze nutritive, patologie o malattie, ecc..

Il problema della variabilità del terreno è un concetto ad oggi superato grazie al progresso tecnologico che ha portato ad avere macchine operatrici in grado di modificare la propria modalità operativa all'interno delle diverse zone di campo.

14

Quando le mappe di prescrizione vengono inserite all'interno delle macchine agricole a rateo variabile, queste permettono di modificare la quantità di prodotto da distribuire in base alle informazioni fornite. Questo presuppone, pertanto, che la macchina sia dotata di un sistema di localizzazione e che per ciascun punto dell'appezzamento sia disponibile il dato relativo alla quantità di prodotto da distribuire. Le dosi da distribuire sono decise a priori, cioè si interviene sulla zona che ha mostrato un deficit agronomico.

Nella semina questa tecnologia può essere ottenuta operando sulla variazione della densità di semina, quindi nella distanza di deposizione dei semi. Nella concimazione minerale, invece, la distribuzione può essere effettuata anche con sistemi basati sull'utilizzo di sensori.

Dal punto operativo, non appena il ricevitore di posizione rileva che la trattrice entra in una zona omogenea dell'appezzamento in cui la dose da distribuire è diversa dalla zona precedente, il computer di bordo comanda l'attuatore (idraulico o elettrico), che provvederà a modulare la serranda di apertura o il sistema di regolazione volumetrico dello spandiconcime. Il sistema di regolazione farà sì che la quantità distribuita sia uguale a quella da distribuire indipendentemente dalla velocità di avanzamento.





PSR LOMBARDIA
L'INNOVAZIONE
METTE RADICI
2014 2020



Regione
Lombardia

Fondo Europeo Agricolo per lo Sviluppo Rurale: l'Europa investe nelle zone rurali