



Progetto realizzato con finanziamento della Regione Puglia  
Legge regionale n. 55/2018 "Avviso pubblico per la  
presentazione di Progetti pilota per la promozione e lo  
sviluppo dell'Agricoltura di Precisione"

REGIONE PUGLIA

*Approccio integrato all'agricoltura di precisione nella moderna azienda cerealicola pugliese*  
Acronimo: AdP4Durum - CUP: B36B20001490002

# LINEE GUIDA

## PER LA GESTIONE SITO-SPECIFICA DEL GRANO DURO



**Partner di progetto**



## INFORMAZIONI VARIE

**Finito di Stampare: Ottobre 2023**

**Coordinamento Fondazione ITS Academy Agroalimentare Puglia**

**SC 138 Cda Marangi n. 26 Locorotondo (BA)**

STAMPATO PRESSO: A.G.A. ARTI GRAFICHE ALBEROBELLO - 70011 ALBEROBELLO (I - BA)  
Contrada Popoleto, nc - Tel. 080.4322044 - [www.editriceaga.it](http://www.editriceaga.it) - [info@editriceaga.it](mailto:info@editriceaga.it)

**ISBN 9788833853031**

## SOMMARIO

<b>PREFAZIONE</b> .....	7
<b>INTRODUZIONE</b> .....	8
<b>PREMESSA</b> .....	10
<b>CAPITOLO 1</b> .....	12
<b>Sistemi di supporto alle decisioni per la gestione sostenibile del grano duro</b> .....	12
<b>Cos'è un DSS</b> .....	12
<b>I DSS grano.net® e granoduro.net®</b> .....	12
<b>La resa attesa, la fertilizzazione azotata e l'efficienza dell'azoto</b> ..	13
<b>La dose di semina</b> .....	17
<b>La difesa, modelli previsionali e gestione delle malattie</b> .....	19
<b>Il controllo integrato delle erbe infestanti</b> .....	20
<b>Il monitoraggio della coltura con immagini satellitari</b> .....	22
<b>Applicazione del DSS nel progetto AdP4durum</b> .....	26
<b>Bibliografia</b> .....	26
<b>CAPITOLO 2</b> .....	28
<b>Sensori e tecnologie per la mappatura della variabilità del suolo e della vegetazione per la definizione delle aree omogenee</b> .....	28
<b>Agricoltura di Precisione</b> .....	28
<b>Sistemi di posizionamento satellitare</b> .....	29
<b>Determinazione dell'informazione posizionale</b> .....	31
<b>Correzione del segnale acquisito dal ricevitore</b> .....	32
<b>Sistemi informativi geografici</b> .....	34

<i>Funzionalità principali dei sistemi GIS</i> .....	35
<i>Sensori e tecnologie per il monitoraggio della variabilità Spazio temporale di suoli e colture</i> .....	38
<b>Sensori per la mappatura e tecnologie applicate nel progetto AdP4Durum</b> .....	41
<b>Bibliografia</b> .....	46
<b>CAPITOLO 3</b> .....	51
<b>Applicazione sito-specifica della fertilizzazione azotata</b> .....	51
<b>La gestione della variabilità in campo</b> .....	51
<b>La distribuzione sito-specifica dei fertilizzanti organici</b> .....	54
<b>La distribuzione sito-specifica nel progetto AdP4Durum</b> .....	56
<b>Bibliografia</b> .....	61
<b>CAPITOLO 4</b> .....	63
<b>Valutazione della sostenibilità economica ed ambientale</b> .....	63
<b>Cos'è la sostenibilità?</b> .....	63
<b>Cosa misuriamo con la sostenibilità?</b> .....	63
<b>Come misuriamo la sostenibilità?</b> .....	64
<b>Valutare la sostenibilità ambientale - Indici AMBIENTALI</b> .....	65
<b>Metodologie per valutare e certificare il livello di sostenibilità dell'azienda agricola</b> .....	66
<b>Yousustain.net</b> .....	70
<b>I compartimenti e gli indicatori di yousustain.net</b> .....	71
<b>Rischio = pericolo x esposizione</b> .....	76
<b>Perché misurare la sostenibilità delle produzioni agricole?</b> .....	77
<b>Certificare ciò che si è misurato</b> .....	77

<b>Valutare la sostenibilità economica - Indici ECONOMICI.....</b>	<b>78</b>
<b>L'efficienza dell'azoto e l'impatto sulle emissioni .....</b>	<b>79</b>
<b>Confronto tra gestione sito-specifica e tradizionale nel progetto AdP4Durum .....</b>	<b>82</b>
<b>Bibliografia.....</b>	<b>84</b>

## Autori e contributo

**PREFAZIONE Donato Pentassuglia<sup>a</sup>**

**INTRODUZIONE Gianluca Nardone<sup>a</sup>**

**PREMESSA Pasquale De Vita<sup>b</sup>**

**Capitolo 1. Giovanni Giuntoli<sup>c</sup>**

**Capitolo 2. Elio Romano<sup>d</sup>, Simone Giovinazzo<sup>d</sup>, Diego A. Zullo<sup>e</sup>, Michele A. Roncetti<sup>e</sup>, Andrea Lazzari<sup>d</sup>, Simone Bergonzoli<sup>d</sup>**

**Capitolo 3. Carlo Bisaglia<sup>d</sup>, Andrea Lazzari<sup>d</sup>, Simone Giovinazzo<sup>d</sup>, Simone Bergonzoli<sup>d</sup>, Diego A. Zullo<sup>e</sup>, Michele A. Roncetti<sup>e</sup>, Elio Romano<sup>d</sup>**

**Capitolo 4. Matteo Ruggeri<sup>c</sup>**

a Assessorato Agricoltura Regione Puglia

b CREA-CI Consiglio per la ricerca in agricoltura e l'analisi dell'economia agraria Cerealicoltura e Colture Industriali S.S 673 km 25,200 Foggia  
Contatti autori: pasquale.devita@crea.gov.it

c Horta S.r.l., sede legale via E. Gorra n. 55, Piacenza (PC), Cap 29122.  
Contatti autori: g.giuntoli@horta-srl.com; m.ruggeri@horta-srl.com

d CREA-IT Consiglio per la ricerca in agricoltura e l'analisi dell'economia agraria Centro di Ricerca in Ingegneria e Trasformazioni Agroalimentari Via Milano 43 - 24047 Treviglio (BG)  
Contatti autori: elio.romano@crea.gov.it; simone.bergonzoli@crea.gov.it;  
carlo.bisaglia@crea.gov.it; andrea.lazzari@crea.gov.it;  
simone.giovinazzo@crea.gov.it

e Con.Cer Società Cooperativa Agricola Località La Quercia S.P. 105 Km. 9,400 Snc - 71122 – Foggia  
Contatti Autori: diegoantonio.zullo@gmail.com; michele.roncetti@caione.it

## PREFAZIONE

La Strategia 'Farm to Fork' della Commissione Europea, alla base della politica agricola dell'Unione per il periodo 2023-2027, spinge gli agricoltori verso una rapida modernizzazione al fine di ottenere migliori risultati ambientali, di aumentare la resilienza climatica e di ottimizzare l'uso dei fattori produttivi, riducendo drasticamente l'impiego degli agrofarmaci, dei nutrienti e fertilizzanti, abbattendo le emissioni ambientali e utilizzando meno risorsa idrica.

Accanto a questa strategia operano gli obiettivi dell'European Green Deal, che pongono un forte accento sugli impatti della transizione ecologica e digitale: su questo sono improntati i numerosi interventi della Politica agricola europea, che trovano concreta applicazione del Complemento di sviluppo rurale della Regione Puglia per il periodo 2023-2027 mediante il sostegno agli investimenti aziendali e alla compensazione degli impegni agro-climatico-ambientali.

La Puglia sta facendo la sua parte, è infatti tra le nove Regioni italiane che hanno attivato, tra tutti gli interventi a finalità agro-climatico-ambientali, quello specifico sull'agricoltura di precisione nel proprio Complemento regionale per lo sviluppo rurale, peraltro con una importante intensità di destinazione di risorse.

È evidente che potremo osservare effetti concreti di queste politiche attraverso l'inclusione di interventi d'indirizzo che prevedano strumenti di conoscenza ma anche metodologici e formativi adeguati.

Con la legge regionale del 17 dicembre 2018, n. 55 questo è reso possibile. Finalità della norma è infatti il trasferimento delle conoscenze e delle tecnologie, la promozione della ricerca applicata e la qualificazione professionale degli imprenditori agricoli che operano scelte basate su questa forma evoluta di agricoltura, nell'ottica della sostenibilità ambientale, del ridotto uso delle risorse e dei mezzi tecnici.

Questo è il modello che intendiamo promuovere con nuove azioni, nel solco della strategia regionale sull'agricoltura di precisione che stiamo convintamente perseguendo.

Dott. Donato Pentassuglia

Assessore all'agricoltura della Regione Puglia

## INTRODUZIONE

L'agricoltura pugliese, tradizionalmente basata su solide basi imprenditoriali, ha oggi la necessità di rendere i processi produttivi ancora più efficienti per poter continuare a competere a livello internazionale, migliorando al contempo la salubrità dei prodotti, ma anche di mettere in pratica meccanismi di adattamento e di mitigazione degli eventi climatici avversi, sempre più frequenti e incidenti sulle performance produttive delle colture e degli allevamenti.

Considerato il fondamentale ruolo della conoscenza e dell'accompagnamento sulle nuove competenze alle aziende agricole verso tale direzione, nel processo di evoluzione dell'agricoltura la nuova PAC rafforza il ruolo dell'innovazione nel quadro dei finanziamenti all'agricoltura, avendo individuato quale obiettivo trasversale a tutti gli interventi della nuova programmazione agricola unionale quello del sistema della conoscenza e dell'innovazione in agricoltura (AKIS).

L'applicazione della tecnologia a supporto delle aziende agricole è la principale risposta a disposizione delle imprese; il suo utilizzo può guidare le scelte dell'imprenditore, rendendo disponibili, attraverso dati dettagliati e analisi mirate, soluzioni tecnico-agronomiche per supportare il complesso processo decisionale che si rende necessario attivare, dalla produzione alla raccolta.

Negli ultimi anni gli investimenti in tecniche di Agricoltura 4.0 in Italia sono notevolmente aumentati, dai 450 milioni di euro di fatturato nel 2019 a 1,6 miliardi di euro nel 2021, dato particolarmente rilevante in un ambito come quello agricolo, contraddistinto da imprenditori con elevata età media e deficit strutturale di competenze specifiche; infatti, secondo quanto emerge dall'ultimo Censimento Generale dell'Agricoltura, nelle aziende in cui la leadership è giovane il tasso d'innovazione raggiunge il 32,2%, attraverso l'uso di processi innovativi, tecniche di agricoltura di precisione, digitalizzazione e la connessa propensione all'internazionalizzazione dei mercati di riferimento, tasso che si attesta appena al 7,69% nelle imprese agricole condotte da agricoltori over 65.

Di contro, la dipendenza delle scelte dall'uso della tecnologia non accompagnata da processi di acquisizione di competenze 'sul campo', può portare all'erosione delle competenze degli agricoltori: il Rapporto della FAO "Lo Stato dell'Alimentazione e dell'Agricoltura 2022", pone particolare enfasi sulla necessità di implementare le tecnologie in modo tale da evitare disomogeneità e scarsa aderenza alla realtà produttiva aziendale, rendendole accessibili ai giovani agricoltori e a tutti i produttori che ne abbiamo interesse.

L'AKIS, che risponde a questa necessità, si attua attraverso la partecipazione coordinata di tutti gli attori degli ambiti interessati: ricerca e sperimentazione,

consulenza e divulgazione, formazione professionale, scambi interaziendali, tecnologie avanzate di supporto. In questa visione, è cruciale promuovere e sostenere con interventi mirati e coerenti con le politiche regionali il supporto alle decisioni aziendali attraverso la digitalizzazione e l'utilizzo dei dati, lo scambio delle conoscenze sulle tecnologie esistenti, l'applicazione dei risultati della ricerca nelle realtà produttive pugliesi, la formazione degli agricoltori e dei consulenti.

In questo contesto, e nel quadro della strategia della regione Puglia, l'obiettivo di promuovere l'utilizzo di nuove tecnologie digitali e di attivare interventi innovativi mirati che favoriscano l'efficienza, la remuneratività e la sostenibilità delle produzioni pugliesi è pienamente raggiunto attraverso il primo progetto agricoltura di precisione AdP4DURUM, 'Approccio integrato all'agricoltura di precisione nella moderna azienda cerealicola pugliese', con un partenariato e un programma di lavoro altamente qualificato, che mette a disposizione delle imprese del settore e di tutta la filiera cerealicola pugliese un importante valore aggiunto nella realizzazione di un tipo di agricoltura che, attraverso l'utilizzo di moderne tecnologie industriali e dell'informazione, sia in grado di efficientare al massimo, in termini di produzione e remuneratività, sempre nel pieno rispetto dell'ambiente, un settore strategico per l'economia regionale e nazionale.

Il progetto pilota AdP4DURUM rientra quindi all'interno di un quadro complessivo regionale di promozione di interventi innovativi nel territorio, anello di collegamento tra le esigenze dell'agricoltura regionale e gli indirizzi strategici europei, poiché il progetto ha prodotto risultati concreti e di pronta applicabilità per le imprese cerealicole e per l'intera filiera pugliese.

Questa pubblicazione rappresenta un significativo contributo verso un modello di agricoltura che, attraverso l'utilizzo di moderne tecnologie digitali e dell'informazione, sia in grado di assicurare efficienza produttiva, remuneratività e sostenibilità ambientale alla coltivazione di grano duro negli areali pugliesi, ma anche in generale un riferimento metodologico per l'applicazione di un supporto decisionale alle scelte degli imprenditori.

Prof. Gianluca Nardone

Direttore del Dipartimento Agricoltura, sviluppo rurale e ambientale della  
Regione Puglia

## PREMESSA

L'agricoltura di precisione sfrutta le tecnologie digitali ed i sistemi di supporto alle decisioni per ottimizzare la gestione agronomica delle colture. Queste nuove tecnologie (GIS, GPS, telerilevamento, modellistica, tecnologie a rateo variabile) consentono il monitoraggio dettagliato delle coltivazioni e delle rese, l'analisi delle proprietà chimico-fisiche del suolo e del clima, nonché la gestione sito-specifica delle lavorazioni, della fertilizzazione e della difesa delle piante. La mappatura dettagliata del suolo e della vegetazione e l'applicazione variabile dei mezzi tecnici all'interno dell'appezzamento permettono di aumentare l'efficienza produttiva, migliorare la gestione delle risorse, ridurre l'impatto ambientale della coltivazione assicurando una maggiore redditività alle aziende agricole.

Partendo da queste considerazioni la Regione Puglia, con legge regionale n. 55 del 17 dicembre 2018, ha finanziato il progetto AdP4DURUM "**Approccio integrato all'agricoltura di precisione nella moderna azienda cerealicola pugliese**", con l'intento di favorire la diffusione delle tecnologie digitali nei processi produttivi, incentivando la partecipazione degli imprenditori agricoli al sistema della conoscenza e dell'innovazione. L'attività di sostegno al processo di trasferimento tecnologico e di qualificazione professionale è stata realizzata attraverso una partnership di soggetti pubblici e privati impegnati da anni nel settore della ricerca e della sperimentazione del grano duro ed ha visto impegnati la OP CON.CER. Soc. Coop. Agr. in qualità di capofila; il CREA per il coordinamento delle attività tecnico-scientifiche; Horta Srl, per l'applicazione del sistema di supporto alle decisioni come grano.net<sup>®</sup> e granoduro.net<sup>®</sup>, quest'ultimo impiegato dai produttori nella filiera frumento duro di alta qualità di Barilla; la Fondazione ITS Agroalimentare Puglia, per le attività di formazione agli operatori e gli addetti del settore, ed infine la Cooperativa Agricola La Quercia, impegnata nella comunicazione e divulgazione dei risultati.

Le attività di tipo dimostrativo sono state condotte in provincia di Foggia e hanno interessato una superficie complessiva di circa 250 ettari. L'intera area dimostrativa, composta 40 appezzamenti o Unità Produttive, è stata digitalizzata su una piattaforma informatica GIS (*Geographical Information System*) in grado di raccogliere dati, gestire la stratificazione delle mappe e pianificare gli interventi di tecnica culturale. Per l'intera durata del progetto il sistema GIS è stato utilizzato non solo come mero strumento di acquisizione dei dati dei singoli appezzamenti, ma anche come una piattaforma digitale in grado di interagire con il sistema di supporto alle decisioni grano.net<sup>®</sup> ed elaborare le "mappe di prescrizione", propedeutiche alla gestione sito-specifica delle varie operazioni culturali a partire dalla semina.

Sulla base dei risultati conseguiti con il progetto AdP4durum è stato possibile definire le principali linee guida per la gestione sito-specifica del grano duro. Pertanto, questo volume vuole essere uno strumento a supporto delle aziende agricole interessate ad utilizzare ed implementare nel processo produttivo le tecnologie digitali attualmente disponibili e che sono in continua e vertiginosa evoluzione. La completa digitalizzazione delle attività agricole offre alle aziende anche la possibilità di generare quaderni di campagna completi e conformi alle normative, garantendo la tracciabilità delle pratiche agronomiche dalla semina alla raccolta ed anche oltre.

Dott. Pasquale De Vita  
Responsabile Tecnico-Scientifico

## CAPITOLO 1

### SISTEMI DI SUPPORTO ALLE DECISIONI PER LA GESTIONE SOSTENIBILE DEL GRANO DURO

#### COS'È UN DSS

Nell'ambito dell'agricoltura di precisione un ruolo particolarmente rilevante è svolto dall'utilizzo dei sistemi spaziali di supporto alle decisioni (DSS) [Giosuè S. et al. 2009]. Si tratta di sistemi esperti che supportano le decisioni in agricoltura attraverso informazioni e consigli specifici, efficaci e puntuali, integrando dati e informazioni di diversa origine:

- **TERRENO:** caratteristiche chimico-fisiche dei suoli per ottimizzare il calcolo delle esigenze idriche e funzionali della coltura;
- **DATABASE:** una banca dati aggiornata di fertilizzanti e prodotti fitosanitari, applicabili in base allo stadio fenologico e alla coltura;
- **VARIETÀ:** caratterizzazione delle singole varietà secondo ritmi di crescita ed esigenze nutrizionali di ogni coltura;
- **METEO:** un flusso costante di dati validati e di previsioni meteorologiche, che alimentano i modelli previsionali;
- **LOCALIZZAZIONE:** geolocalizzazione degli appezzamenti che tiene conto delle caratteristiche geografiche del sito di coltivazione;



#### I DSS GRANO.NET® E GRANODURO.NET®

Grano.net® (frumento duro e frumento tenero) e granoduro.net® (solo frumento duro dedicato alla filiera alta qualità Barilla) sono due piattaforme digitali per l'agricoltura di precisione, consultabili via web, per la coltivazione sostenibile del grano di alta qualità [Rossi V. et al. 2010; Ruggeri M. et al. 2012]. Si tratta di Sistemi di Supporto alle Decisioni (DSS) nati nel 2011 e basati su modelli previsionali atti a generare informazioni utili da integrare all'esperienza del decisore (agricoltore e tecnico agronomo) così da garantire che le azioni intraprese in campo siano le migliori per massimizzare la resa, la qualità e minimizzare gli impatti ambientali. I DSS sono quindi piattaforme informatiche che raccolgono, in tempo reale, dati colturali tramite varie tipologie di sensori, organizzano questi

dati in cloud, li interpretano per mezzo di tecniche avanzate di modellistica e big data e li integrano in modo automatico con le conoscenze esperte, così da produrre informazioni, allarmi e supporto alle decisioni.



**Figura 1 Funzionamento di un DSS (Sistema di supporto alle decisioni)**

Anche i dati relativi alle operazioni colturali entrano nei database, in modo da generare un flusso continuo d'informazioni sempre aggiornate fra la coltura, il DSS e l'utente.

Partendo da dati provenienti da stazioni meteorologiche, sensori prossimali e remoti (droni e satelliti) e da diversi modelli previsionali relativi ai cicli dei nutrienti, all'acqua nell'ecosistema agricolo, ai patogeni fungini e alla fenologia della pianta, forniscono consigli pratici sulle migliori tipologie e sulle tempistiche di applicazione dei mezzi tecnici. Gli algoritmi si alimentano anche di dati di campo provenienti dalle prove sperimentali che Horta conduce nei principali areali cerealicoli nazionali. La complessità dei dati analizzati viene infine visualizzata all'utente in modo semplificato tramite figure, cruscotti, grafici e tabelle in grado di dare consigli pratici su cosa è necessario effettuare in campo durante tutte le fasi di coltivazione (Fig.1) [Meriggi P. et al. 2011].

## LA RESA ATTESA, LA FERTILIZZAZIONE AZOTATA E L'EFFICIENZA DELL'AZOTO

I supporti decisionali forniti dal DSS sono riferiti alle singole Unità Produttive (UP), ossia a uno o più appezzamenti adiacenti, uniformi come tessitura, con la stessa precessione culturale, lavorazione del terreno e varietà.

Gestione	Azienda	Descrizione	Nazione	Località	Varietà	Superficie (ha)	Sistema culturale	Funzionalità
	Horta srl	Campo prova Lovaglio	Italia	Spinazzola	Egeo	10,00	Convenzionale (difesa integrata obbligatoria)	
	Test_versata agricola	prova 28 febbr	Italia	Ospedaletto Euganeo	Odiseo	18,00	Convenzionale (difesa integrata obbligatoria)	
	Az. agricola bosca	Prova fiera	Italia	Ravenna	LG Albatron	10,00	Convenzionale (difesa integrata obbligatoria)	
	Az. agr. versat	dix del fiume	Italia	Macerata	Don Maitro	15,00	Convenzionale (difesa integrata obbligatoria)	
	Azienda agricola ver...	Campo 2 - Achille	Italia	Reggio nell'emilia	Achille	10,00	Integrato (difesa integrata volontaria)	
	Az. agricola bosca	Ex girasole 1	Italia	Bagnacavallo	Achille	10,00	Convenzionale (difesa integrata obbligatoria)	
	AZ. agricola Bosca	Prova 2	Italia	Ravenna	Trionfo	34,00	Convenzionale (difesa integrata obbligatoria)	
	Tutorial	farm	Ελλάδα (Grecia)	Ασίκουκι, Μεσσηνία (Lakonia, Messania)	Antalis	35,00	Convenzionale (difesa integrata obbligatoria)	
	Tutorial	farm	Ελλάδα (Grecia)	Λαοίλι (Ladithi)	Alubis	35,00	Convenzionale (difesa integrata obbligatoria)	
	Horta srl	Tutorial grano	Italia	Ravenna	Cesare	5,00	Convenzionale (difesa integrata obbligatoria)	

Figura 2 Schermata principale del DSS grano.net®

Ciascuna UP è collegata ad una stazione meteo di riferimento, da cui riceve gli input riguardanti le variabili meteo.



Figura 3 Stazione meteorologica

La stazione meteorologica (Fig. 3) collegata all'unità produttiva misura in tempo reale le condizioni atmosferiche e ad intervalli di un'ora trasmette i dati al DSS.

Prima di interagire con i modelli matematici dei DSS, i dati meteorologici vengono validati da un sistema di controllo dati.

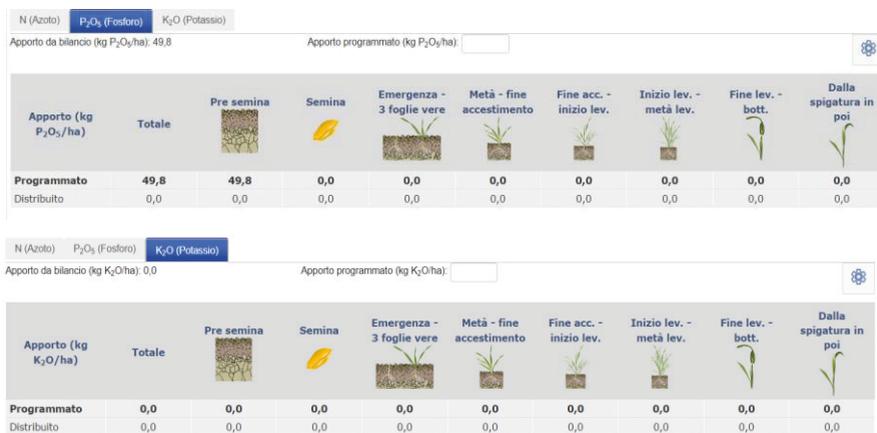
Nella fase di compilazione dell'UP (Fig. 4), l'utente deve inserire nel sistema una serie di informazioni che servono al DSS per poter alimentare i modelli matematici rispecchiando le condizioni di campo.

▼ Generale			
Azienda	<a href="#">Horta srl</a>	Coltura	Frumento duro granella e paglia asportata
Descrizione	Campo Demo	Varietà	RGT Leondur
Superficie (ha)	10,00	Resa attesa (t/ha)	6
Zona vulnerabile a nitrati	No	Coltura precedente	Fava granella secca
Nazione	Italia	Data semina	20/11/2022
Regione	Puglia	Analisi terreno	Analisi webinar - sud
Provincia	Foggia	Scheletro	Assente
Comune	Foggia	Tessitura	Sabbia (%) 13
Stazione meteo	Foggia loc. San Giuseppe (IT, Foggia) (Horta)		Limo (%) 44
Latitudine	41,497519		Argilla (%) 43
Longitudine	15,500456		Tipologia di terreno
Altitudine (m)	101-200		Suolo limoso argilloso
Pendenza media	Pianeggiante (0-5%)	Sostanza organica % (humus)	2,11
Sistema culturale	Convenzionale (difesa integrata obbligatoria)		

**Figura 4** Compilazione della scheda di un'unità produttiva (UP) del DSS

Per ogni UP l'utente deve esprimere un valore di resa attesa, cioè l'obiettivo produttivo che si intende raggiungere. A partire da questo dato, il DSS suggerisce uno specifico piano di concimazione (Fig.5) per le condizioni selezionate.

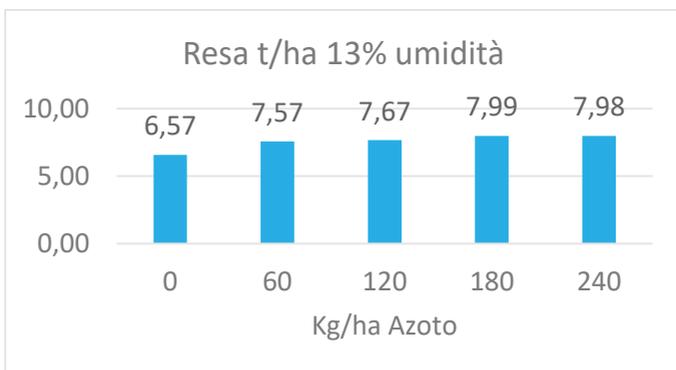
N (Azoto)		P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (Fosforo)		K <sub>2</sub> O (Potassio)					
Apporto da bilancio (kg N/ha): 108,5		Apporto programmato (kg N/ha): <input type="text"/>							
Apporto (kg N/ha)	Totale	Pre semina	Semina	Emergenza - 3 foglie vere	Metà - fine accestimento	Fine acc. - inizio lev.	Inizio lev. - metà lev.	Fine lev. - bott.	Dalla spigatura in poi
Programmato	108,5	0,0	0,0	0,0	26,6	0,0	81,9	0,0	0,0
Distribuito	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Da distribuire	103,5	-	-	-	0,0	-	103,5	-	-



**Figura 5 Piano di fertilizzazione di un'unità produttiva (UP)**

Il calcolo dell'azoto da apportare fa riferimento al metodo del bilancio ed è influenzato principalmente dal contenuto in azoto e dalla sostanza organica del terreno, dalla varietà coltivata e dalla sua fenologia, dalla precessione colturale e dall'andamento climatico dei mesi autunnali e invernali. Attraverso questo sistema è possibile ottimizzare l'uso dei fertilizzanti, i quali vengono distribuiti nelle quantità idonee e solo quando sono realmente necessari per raggiungere il risultato pianificato sia in termini quantitativi (resa attesa) che qualitativi.

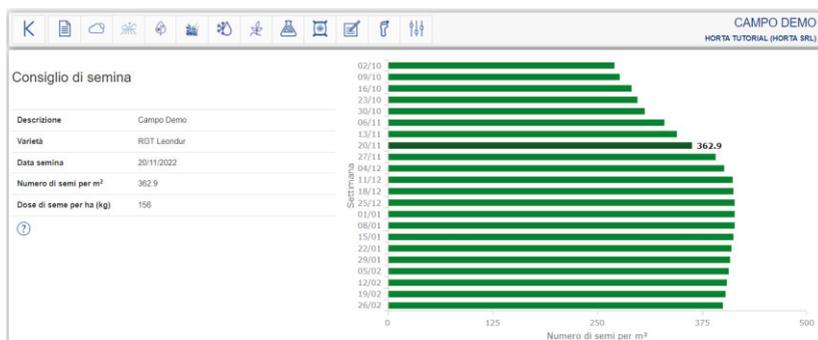
Le dosi ottimali di azoto da distribuire e il timing di somministrazione, sono calcolati e suggeriti per ogni varietà, a seguito di uno studio sperimentale che consente di studiare la risposta produttiva delle varietà a diversi livelli di azoto somministrato, solitamente 0, 60, 120, 180, 240 kg/ha (Fig.6).



**Figura 6 Esempio degli effetti della distribuzione dell'azoto a diverse dosi su una varietà di grano duro**

## LA DOSE DI SEMINA

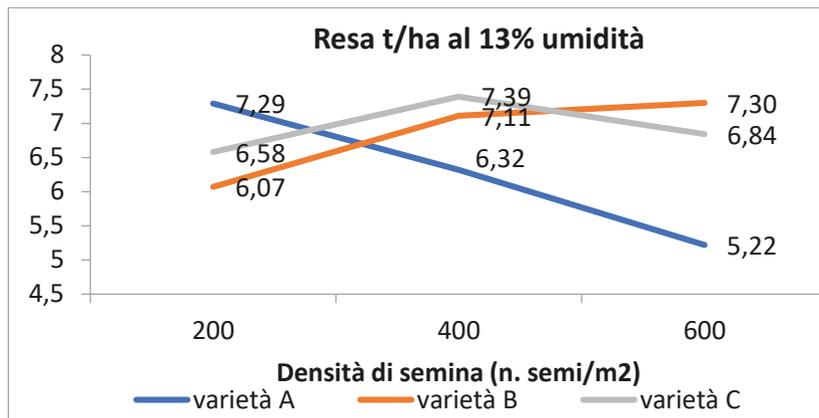
Il DSS fornisce l'esatta dose di semina in rapporto alla varietà prescelta, al tipo di terreno, all'andamento meteorologico, alla localizzazione geografica del campo e alla data di semina.



**Figura 7 Tool semina del DSS grano.net®**

I dati relativi alle dosi di semina sono ricavati dalle piattaforme sperimentali di Horta (Fig.7), in cui vengono testate tutte le varietà a diverse dosi di semina, solitamente 200, 400 e 600 semi/m<sup>2</sup>. Da questi studi emerge che ogni varietà ha un optimum di produzione particolare che viene poi suggerito dal DSS. Come si

può riscontrare nella figura 8, alcune varietà si avvantaggiano di semine rade, altre, di semine più o meno fitte.



**Figura 8 Esempio degli effetti di diverse dosi di semina per una varietà di grano duro**



**Figura 9 Foto aerea di una piattaforma sperimentale di Horta**

## LA DIFESA, MODELLI PREVISIONALI E GESTIONE DELLE MALATTIE

Per quanto riguarda la difesa dalle malattie fungine, grano.net® e granoduro.net® forniscono indici di rischio sintetici e di dettaglio, per valutare se e quando è realmente necessario controllare le malattie del grano [Salinari F. et al. 2013].

I DSS, come si evince da figura 10, riportano gli output dei modelli previsionali di septoriosi, ruggine gialla, ruggine bruna, oidio, fusariosi della spiga e micotossine.

L'utente può monitorare l'andamento generale di tutte le malattie, in un grafico che gli consente di valutare le infezioni degli ultimi 10 giorni e le infezioni previste per i 7 giorni successivi alla consultazione (Fig.11).

Questo tool permette quindi di prendere decisioni relative alla difesa, permettendo di conoscere quando le malattie cominciano a svilupparsi in campo, molto prima che compaiano i sintomi.



Figura 10 Tool malattie del DSS grano.net®

### Malattie - evoluzione rischio



**Figura 11 Grafico di sintesi dell'evoluzione del rischio delle malattie di un'unità produttiva del DSS grano.net®**

Visto che si è in grado di prevedere l'insorgenza della malattia, l'utente, oltre ad avere un vantaggio di tempestività di intervento, può quindi organizzare la difesa con prodotti preventivi e valutare il momento più idoneo per l'applicazione del prodotto fungicida, tenendo conto delle condizioni meteorologiche.

## IL CONTROLLO INTEGRATO DELLE ERBE INFESTANTI

Nella sezione dedicata al controllo delle erbe infestanti (Fig. 12), il DSS permette di scegliere i diserbanti adatti a contenere lo sviluppo delle specifiche infestanti presenti nel campo e consiglia il momento migliore per l'applicazione (Fig.13).

	Nome Preparato	Distributore		Infestanti					
				Sinapis alba	Avena fatua	Lolium multiflorum	Papaver rhoeas	Cirsium arvense	
<input type="checkbox"/>	Atlantis Activ	BAYER CROPSCIENCE			S	S	S	S	MS
<input type="checkbox"/>	Atlantis Flex	BAYER CROPSCIENCE			S	S	S	MS	MS
<input type="checkbox"/>	Cossack Pro	BAYER CROPSCIENCE			S	S	S	MS	MS
<input type="checkbox"/>	Hussar Maxx Pro	BAYER CROPSCIENCE			S	S	S	MS	MS
<input type="checkbox"/>	Pacific Xpert	BAYER CROPSCIENCE			S	S	S	MS	MS
<input type="checkbox"/>	Broadway	Corteva Agriscience			S	MS	S	S	MS
<input type="checkbox"/>	Corello	Corteva Agriscience			S	MS	MS	MS	MS
<input type="checkbox"/>	Floramix	Corteva Agriscience			S	MS	MS	MS	MS

**Figura 12 Tool controllo della flora infestante del DSS grano.net®**

## APPLICABILITÀ TRATTAMENTO

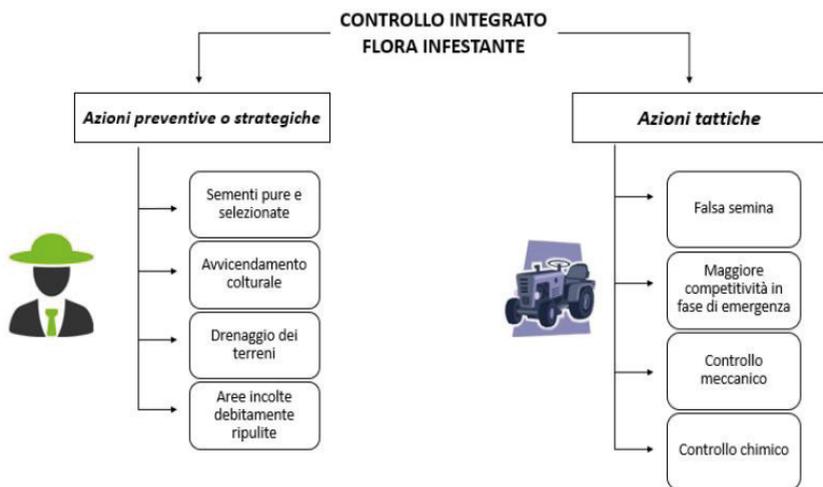


Nome preparato	21/09/2023				22/09/2023				23/09/2023			
	0-6	6-12	12-18	18-24	0-6	6-12	12-18	18-24	0-6	6-12	12-18	18-24
Floramix	No	No	Si	Si	Si	No	No	Si	No	No	No	Si

Insufficienti ore utili con assenza di pioggia

**Figura 13 : Tool applicabilità dei prodotti fitosanitari in grano.net®**

Oltre alla sezione del controllo chimico delle erbe infestanti, il DSS riporta una scheda con le linee guida del controllo integrato, in cui sono menzionate tutte le azioni preventive o strategiche che l'utente può mettere in pratica, oltre alle azioni tattiche che riguardano la gestione del campo (Fig.14).



**Figura 14 Scheda con linee guida per il controllo integrato delle erbe infestanti**

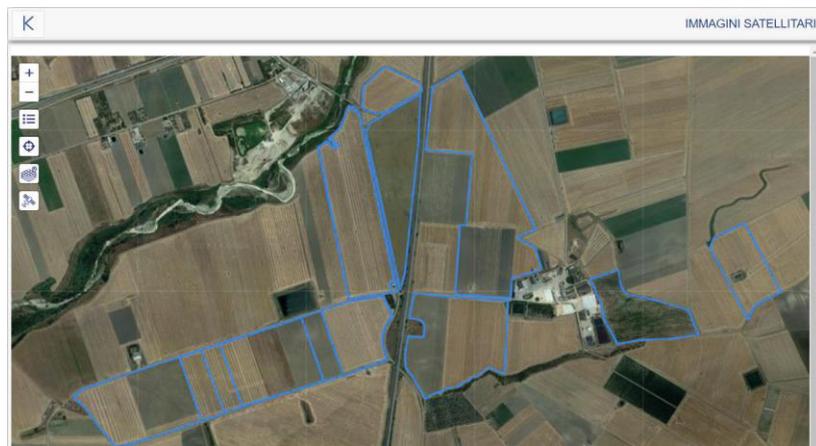
Tra queste rientra anche il controllo meccanico delle erbe infestanti, attraverso l'uso dell'erpice strigliatore. Grazie allo specifico cruscotto (Fig.15), il DSS è in grado di indicare le fasi in cui è possibile utilizzare l'erpice strigliatore senza arrecare danni alla coltura.



**Figura 15** Crusotto per l'utilizzo dell'erpice strigliatore in grano.net®

## IL MONITORAGGIO DELLA COLTURA CON IMMAGINI SATELLITARI

Nella sezione delle immagini satellitari, il DSS consente di monitorare lo sviluppo della coltura attraverso l'indice NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) e di poter scaricare mappe utili per la determinazione di mappe di prescrizione per la fertilizzazione sito specifica (rateo-variabile). Nella fase di compilazione dell'unità produttiva è necessario associare la stessa ad un campo precedentemente disegnato e contraddistinto da un poligono (Fig.16).



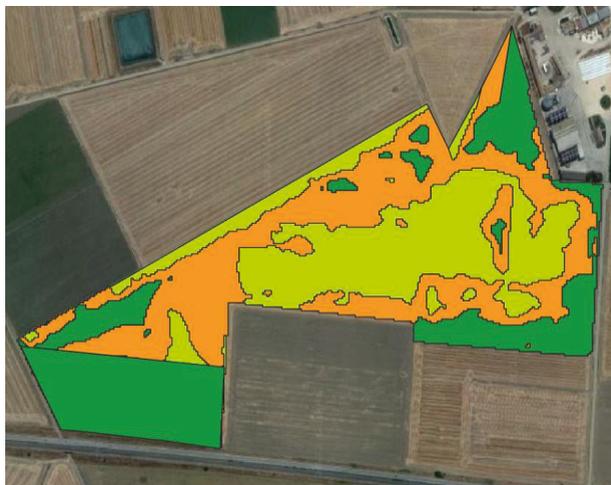
**Figura 16** Campi di un'azienda agricola disegnati nel tool delle immagini satellitari di grano.net®

Una volta selezionato il campo, è possibile selezionare la data di monitoraggio e consultare i valori di NDVI della coltura (Fig.17). È inoltre possibile raggruppare

i pixel in gruppi omogenei (analisi cluster). È importante sottolineare che è possibile scaricare i valori assoluti di NDVI per ogni pixel oppure associare ad ogni pixel il valore del gruppo a cui il pixel è connesso, a seguito dell'analisi cluster, in modo da rendere più agevole l'elaborazione dei dati per la costituzione di una mappa di prescrizione per la concimazione a rateo variabile (Fig. 18).



**Figura 17 Esempio di consultazione delle immagini satellitari di un campo con riferimento all'indice NDVI**



**Figura 18** Mappa di prescrizione per la concimazione a rateo variabile

## La tracciabilità

Il Registro delle Operazioni Colturali (ROC) permette di registrare tutte le operazioni che vengono effettuate in campo, dalla lavorazione del terreno alla consegna della granella (Fig.19). Questo consente di tenere traccia di tutto quello che viene eseguito in campo e poter quindi fornire una tracciabilità completa di ogni singolo campo coltivato. Specialmente in contesti di filiera o di organizzazioni di produttori (OP), la tracciabilità rappresenta uno strumento importante per dare maggiore valore al prodotto finale.

### Registro operazioni colturali

	Data	Tipo operazione	Descrizione
	20/07/2023	Post-raccolta	Carico residui imballati
	10/07/2023	Post-raccolta	Imballatura residui
	22/06/2023	Consegna	Quantità trasportata: 34,57 t
	22/06/2023	Raccolta	Superficie raccolta: 6,1 ha
	24/04/2023	Trattamento di difesa / Fitoregolatori	Septoriosi, Malerbe (Tekken - Sipcam S.p.A., Revycare - BASF ITALIA SPA, Blathlon 4D - BASF ITALIA SPA)
	14/04/2023	Fertilizzazione	Granulare / Pellet
	13/03/2023	Fertilizzazione	Granulare / Pellet
	22/12/2022	Semina	Con seminatrice tradizionale (tipo cereali)
	20/12/2022	Lavorazione del terreno	Ercipatura con denti a molle (tipo kongskilde)
	30/09/2022	Lavorazione del terreno	Ercipatura con denti a molle (tipo kongskilde)

**Figura 19 ROC registro delle operazioni colturali di un campo di grano duro**

Oltre ad essere il punto di contatto tra l'utente e il DSS, in quanto attraverso la registrazione delle operazioni colturali il DSS può ricalcolare le condizioni di campo, il ROC consente ai sistemi di Horta di valutare l'impatto ambientale delle scelte colturali in campo, e in azienda, attraverso un aggregato di indicatori: Salute, Suolo, Aria, Biodiversità, Energia, Acqua (Fig.20). Questa sezione è ampiamente descritta nel capitolo "Valutazione della sostenibilità ambientale ed economica".



**Figura 20 Tool sostenibilità del dss grano.net® - esempio di un campo di grano duro**

## APPLICAZIONE DEL DSS NEL PROGETTO ADP4DURUM

Nei campi del progetto ADP4Durum si è coltivato grano duro per la filiera Barilla, pertanto la gestione agronomica è stata fatta seguendo le indicazioni del DSS granoduro.net® [Ruini L. et al. 2015]. A seguito dell'individuazione dei campi, sono state create le unità produttive (UP) sul DSS e sono quindi stati inseriti tutti i dati relativi alle caratteristiche del suolo, alla precessione culturale, alla varietà coltivata ed è stata impostata la resa attesa.

La semina è stata effettuata con macchine di precisione che hanno permesso di distribuire la dose di seme indicata dal DSS, esplicita nello specifico tool.

Oltre alla gestione delle concimazioni, il DSS ha permesso di ottimizzare anche i prodotti fitosanitari per la gestione delle malerbe e delle malattie. Nello specifico, grazie al tool dedicato alla gestione della flora infestante è stato possibile utilizzare i prodotti erbicidi più idonei al controllo delle infestanti specifiche di ogni unità produttiva e sono stati effettuati i trattamenti fungicidi solo nei campi dove il DSS ha previsto la presenza delle malattie. Anche il timing di intervento è stato deciso seguendo i modelli previsionali, infatti i trattamenti sono stati effettuati nei giorni in cui il DSS ha riportato un rischio di malattia medio-alto o alto.

## BIBLIOGRAFIA

Giosué S., Meriggi P., Caffi T., Rossi V. (2009). A decision support system for integrated management of wheat crops. Atti 15th Convegno Nazionale SIPaV, Locorotondo, Bari, Italia. Journal of Plant Pathology (2009), 91 (4, Suppl.), S4.63 - S4.64.

Meriggi P., Salinari F., Giosué S., Ruggeri M. (2011) GranoDuro.net: un servizio web per le aziende agricole. Atti del XIV Convegno Nazionale di Agrometeorologia "Agrometeorologia per l'azienda agraria", Bologna, 7-9 giugno 2011, 93-94.

Rossi V., Meriggi P., Caffi T., Giosué S., Bettati T. (2010). A web-based decision support system for managing durum wheat crops. Capitolo 1 nel volume "Decision Support Systems, Advances in", Ger Devlin (ed), Intech, Vukovar Croatia, 2010, 1-26, ISBN 978-953-307-069-8.

Ruini L., Ronchi C., Ferrari E., Meriggi P. (2015). Promoting sustainable durum wheat production in Italy: The Barilla Sustainable Farming project. Second international Conference on Agriculture in an Urbanizing Society, reconnecting Agriculture and food chains to societal needs. 14-17 September 2015, Rome, Italy.

Ruggeri M., Meriggi P., Ruini L., Zerbini M., Sessa F., Marino M., Rossi V. (2012). Granoduro.net®: a web-based decision support system to improve durum wheat sustainability. An International MPU Workshop. Plant Protection for the Quality and Safety of the Mediterranean Diet. 24th-26th October 2012 Bari, Italy.

Salinari F., Caffi T., Legler S.E., Ciliberti N., Rossi V. (2013) Innovative approaches for reducing fungicide applications: a web-based decision support system for integrated vineyard management. Atti Patholux, Lussemburgo, 22-23 ottobre 2012. In: Journal of Plant Pathology 95, (1 suppl.), S1.74-75 (Abstract).

## CAPITOLO 2

### SENSORI E TECNOLOGIE PER LA MAPPATURA DELLA VARIABILITA' DEL SUOLO E DELLA VEGETAZIONE PER LA DEFINIZIONE DELLE AREE OMOGENEE

#### AGRICOLTURA DI PRECISIONE

Con il termine agricoltura di precisione si intende *“una strategia di gestione dell'attività agricola con la quale i dati vengono raccolti, elaborati, analizzati e combinati con altre informazioni per orientare le decisioni in funzione della variabilità spaziale e temporale, e questo al fine di migliorare l'efficienza nell'uso delle risorse, la produttività, la qualità, la redditività e la sostenibilità della produzione agricola”* [ISPA, 2021].

Questi concetti hanno fatto la loro comparsa a partire dalla prima metà degli anni '90, ed il perfezionamento tecnologico dell'agricoltura di precisione, basato principalmente su procedure guidate da satellite e sui sistemi di supporto alle decisioni assistiti da computer, sono ancora in fase di evoluzione [Krishna K.R., 2013]. L'urgenza di migliorare l'efficienza del processo produttivo è nata come conseguenza di importanti sconvolgimenti che stanno oggi interessando il comparto agricolo, ossia mutamenti climatici, demografici, o l'esaurimento di materie prime non rinnovabili [Bisaglia C., 2018]: l'obiettivo è quello di ottimizzare l'utilizzo delle risorse, modulando gli interventi in funzione della variabilità spazio-temporale, così da ottenere una maggiore produzione riducendo il consumo di input [Casa R. & Pisante M., 2016].

Prima che l'agricoltura di precisione facesse la sua comparsa le lavorazioni del terreno si basavano esclusivamente sull'esperienza professionale acquisita dall'operatore, e questo comportava il rischio di errori oltre che un eccessivo consumo di risorse, un danno ambientale ed economico per l'azienda agricola. Al contrario l'adozione di strumenti di controllo, previsione e decisione tipici dell'agricoltura di precisione consente di ridurre consumi e sprechi e di aumentare la produttività dei terreni.

Tra i possibili campi di applicazione dell'agricoltura di precisione rientrano la gestione sito-specifica delle lavorazioni e la navigazione delle macchine. Nel primo gruppo di operazioni sono comprese quelle attività che consentono di trattare in modo specifico le aree di un appezzamento caratterizzate da ampia variabilità: gestire la variabilità consiste nel poter applicare in modo diversificato gli input colturali secondo le effettive esigenze di un appezzamento e non in modo omogeneo [Dusadeerungsikul P.O. et al. 2020]. La navigazione satellitare delle

macchine consente invece all'operatore di mantenere il parallelismo tra passaggi contigui e di percorrere una certa traiettoria limitando la quota di sovrapposizioni oltre che un eccessivo compattamento del suolo, con una riduzione dei tempi e dei costi di lavoro. Rientra in questo gruppo di operazioni anche la movimentazione di mezzi agricoli intesi come flotta, al fine di poter garantire un monitoraggio ed un coordinamento dell'intero cantiere di lavoro (Fig. 21) [Kvíz Z. et al. 2014].



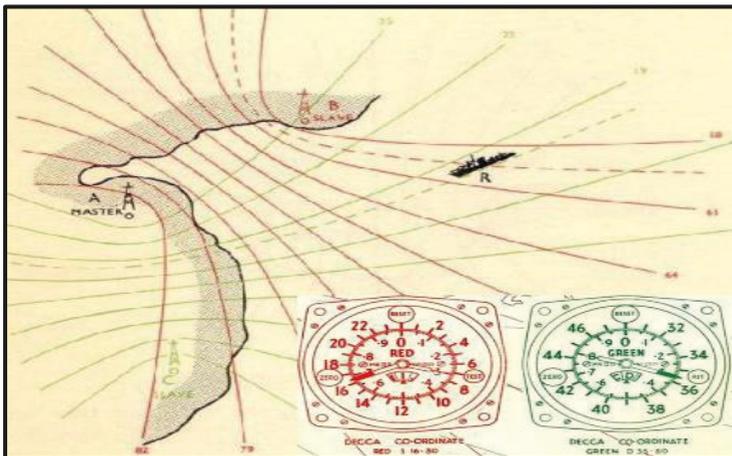
**Figura 21 Tecnologie di precisione per il monitoraggio ed il coordinamento delle macchine agricole in un cantiere di lavoro [Mattetti M., 2021]**

Il principio fondamentale su cui trova fondamento l'agricoltura di precisione è l'acquisizione di un'informazione posizionale ottenuta attraverso un sistema di posizionamento geografico basato su una costellazione di satelliti.

## SISTEMI DI POSIZIONAMENTO SATELLITARE

Con il passare del tempo tecniche e strumenti utilizzati per l'orientamento sono via via migliorati, con una spinta decisiva a partire dalla seconda metà del XX secolo dopo l'avvento su scala militare dei sistemi di posizionamento a trasmissione radio. Furono così introdotte le tecnologie Decca, Loran e Omega, sistemi di navigazione radio-iperbolico che hanno avuto grande diffusione durante

il secondo conflitto mondiale e che si caratterizzavano per l'uso di stazioni trasmettenti poste sulla superficie terrestre per l'invio di segnali (Fig.22). Per determinare l'esatta posizione di un ricevitore, Decca e Omega utilizzavano un confronto di fase, ossia lo sfasamento tra i segnali radio provenienti dalla stazione principale rispetto a quelle secondarie, Loran invece si basava sull'elaborazione del tempo che intercorreva tra la trasmissione e la ricezione dell'impulso radio rispetto alle singole stazioni [Wells D. & Grant S., 2003].



**Figura 22 Sistema Decca di posizionamento con confronto di fase [Parker M., 2008]**

Ma fu solo durante gli anni della Guerra Fredda che USA e URSS investirono nella ricerca sulla navigazione satellitare per ottenere benefici strategici a livello tecnologico-militare. In particolare, il tracciamento dalla Terra dell'orbita del satellite artificiale Sputnik I, inviato nello spazio dall'Unione Sovietica il 4 ottobre del 1957, fu preliminare alla nascita dei primi studi sui sistemi di posizionamento satellitare (*Global Navigation Satellite Systems - GNSS*) [Bernardini F., 2008]. Un GNSS si basa sulla ricezione e sull'elaborazione di segnali a radiofrequenza provenienti dalla costellazione di satelliti posti su orbite circolari non geostazionarie attorno al pianeta Terra con l'obiettivo di stimare le coordinate tridimensionali di latitudine, longitudine ed altitudine in qualunque punto della superficie terrestre. Gli elementi costitutivi di un sistema di posizionamento satellitare comprendono [Ristic A. et al. 2010]:

- un segmento spaziale, formato dai satelliti orbitanti nello spazio;
- un segmento di controllo e monitoraggio, per valutare eventuali malfunzionamenti, o per calcolare l'esatta posizione dei satelliti;
- un segmento di utilizzo, infine, costituito dagli utenti che utilizzano un ricevitore in grado di elaborare i segnali ricevuti dai satelliti e di effettuare i calcoli necessari per ricavare la propria posizione.

Tra i sistemi di posizionamento satellitare oggi in funzione, il più comunemente utilizzato è rappresentato dal Navstar GPS (*NAVigation Satellite Time and Ranging Global Positioning System*), introdotto nel 1973 dal Dipartimento della Difesa Statunitense e divenuto pienamente operativo per l'utenza civile solo dal 1995.

Il segmento spaziale del sistema comprende ad oggi 32 satelliti (di cui 24 pienamente operativi) orbitanti ad una quota di 20200 km su 6 piani, inclinati rispetto al piano equatoriale di 55°. Ogni satellite è equipaggiato con orologi atomici al cesio e al rubidio ad altissima precisione per la trasmissione dei segnali, i quali oscillano alla frequenza fondamentale di 10.23 MHz. Moltiplicando tale valore per 154 e 120 si ottengono rispettivamente le due frequenze portanti L1 e L2, responsabili della trasmissione dei codici di Coarse/Acquisition (solo su L1) per impieghi civili e di Precision (su L1 e L2) per uso militare. I ricevitori sono invece equipaggiati con un'antenna per la ricezione dei segnali oltre che con una sorgente di tempo, basata sulle oscillazioni di un cristallo di quarzo, tale da consentire una sincronizzazione con gli orologi atomici presenti nei satelliti [Hoffman-Wellenhof B. et al. 2008].

Un ulteriore sistema di posizionamento satellitare ad oggi completamente operativo è rappresentato da GLONASS (*GLOBAL NAVigation Satellite System*), sviluppato nel 1982 dall'Unione Sovietica. Tuttavia, esistono anche altri sistemi globali in via di definizione e completamento come Galileo, Compass, Doris, IRNSS e QZSS [El-Hallaq M.A., 2013].

---

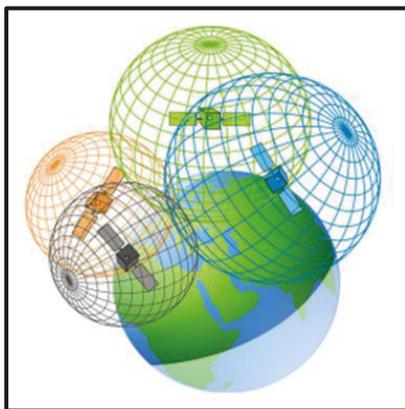
## DETERMINAZIONE DELL'INFORMAZIONE POSIZIONALE

Affinché un ricevitore possa determinare con precisione la sua esatta localizzazione è fondamentale che siano note le coordinate in orbita dei satelliti, per questo motivo il segmento spaziale, grazie al contributo delle stazioni appartenenti al segmento di controllo, trasmette altresì le informazioni relative alla posizione dei satelliti.

Per determinare la posizione di un ricevitore è necessario, come prima cosa, misurare la sua distanza rispetto al satellite, operazione che prende il nome di *satellite ranging* e che viene ottenuta attraverso [Kaplan D. et al. 2005]:

- una misura di pseudorange, in cui viene misurato lo sfasamento temporale tra la trasmissione del segnale radio prodotto dal satellite con una copia dello stesso codice generato dal ricevitore GPS. Il satellite ranging si ottiene moltiplicando la differenza del tempo di ricezione per la velocità di propagazione del segnale nello spazio;
- una misura di fase, in cui viene misurato uno sfasamento tra l'onda generata dal satellite acquisita dal ricevitore rispetto ad una di riferimento prodotta dallo stesso ricevitore GPS.

Ottenuta la distanza rispetto ad un satellite, le informazioni necessarie a produrre le coordinate esatte di un punto richiedono l'applicazione di una tecnica di posizionamento nota con il nome di trilaterazione (Fig. 23). Il principio di funzionamento consiste nell'intersecare idealmente tante sfere quanti sono i satelliti operativi comunicanti con il ricevitore: queste sfere possiedono al centro il satellite stesso, mentre il valore del raggio risulta equivalente alla distanza satellite-ricevitore calcolata con le misure di pseudorange o di fase. Il punto di intersezione corrisponde alla posizione occupata dal ricevitore [Peyret F. et al. 2015].



**Figura 23 Trilaterazione di un segnale per la determinazione della posizione di un ricevitore** [<https://gisgeography.com/trilateration-triangulation-gps/>]

## CORREZIONE DEL SEGNALE ACQUISITO DAL RICEVITORE

Il rilevamento di una posizione, attraverso l'utilizzo di un sistema di posizionamento satellitare, può tuttavia risentire di alcune fonti di errore o disturbi

del segnale tali da incidere sull'affidabilità e sulla ripetibilità delle misure effettuate. Le principali cause di perturbazione comprendono [Calcante A. et al. 2016]:

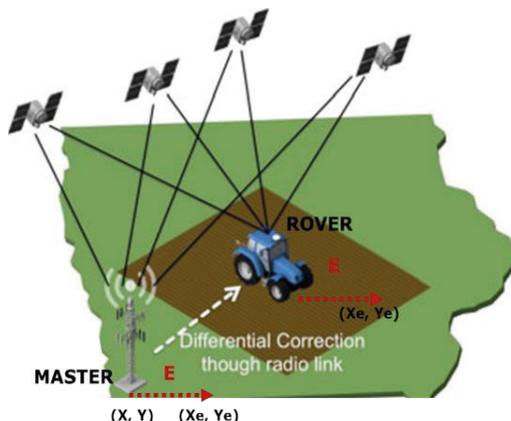
- errori degli orologi, dovuti al diverso livello di precisione tra quello satellitare e quello del ricevitore, che si basano sulla frequenza di risonanza di due diversi atomi;
- *selective availability*, un disturbo del segnale introdotto per motivi di sicurezza nazionale dal Dipartimento di Difesa degli Stati Uniti e rimosso nel 2000;
- una non ottimale disposizione dei satelliti in comunicazione con il ricevitore;
- l'effetto della rifrazione atmosferica che può provocare un rallentamento della velocità di trasmissione del segnale;
- errori di osservazione, dovuti ad una perdita temporanea di tracciamento del segnale da parte del ricevitore (cycle-slip), o alla riflessione del segnale di tracciamento provocati dalla presenza di ostacoli lungo il percorso (multipath).

Tuttavia, esistono alcune strategie che possono essere utilizzate per ridurre l'entità di disturbo del segnale, oltre che per migliorare accuratezza e precisione nella determinazione di una posizione. Le tecniche di correzione non differenziale del segnale si basano su ricevitori in grado di applicare strumenti matematici di aggiustamento del segnale oppure di integrare le due misure di satellite ranging per la determinazione della distanza satellite-ricevitore. Esistono inoltre metodi di correzione differenziale del segnale apportati in tempo reale ai rilievi effettuati, siano essi di natura statica oppure dinamica, come nel caso delle operazioni svolte nell'ambito dell'agricoltura di precisione. Queste tecniche si basano sulla combinazione dei dati acquisiti contemporaneamente da due o più ricevitori in comunicazione con gli stessi satelliti e posti tra loro ad una distanza ravvicinata [Calcante A. et al. 2016].

L'operatività di un sistema globale di navigazione satellitare può essere migliorata attraverso il *Satellite-based Augmentation Systems (SBAS)*, una soluzione economica di correzione degli errori di misurazione del segnale che si basa su una rete di stazioni di riferimento distribuita sulla superficie terrestre, in grado di misurare l'errore, calcolarne le correzioni differenziali e trasmettere l'informazione a specifici satelliti geostazionari autonomi rispetto a quelli del segmento spaziale di Navstar GPS, e che veicolano tale informazione direttamente al ricevitore [Walter T., 2020].

Un altro esempio di correzione differenziale è dato dalla *Real-time Kinematic positioning* (RTK), la quale prevede il ricorso ad almeno due ricevitori, un

ROVER ossia la stazione mobile, ed un MASTER ossia la stazione fissa operante a coordinate X e Y note (Fig. 24). In questo caso, sia il ricevitore ROVER che il ricevitore MASTER acquisiscono la propria informazione posizionale elaborando i dati ottenuti da satellite: il ricevitore a postazione fissa calcola l'errore del segnale satellitare e comunica alla stazione mobile la correzione da apportare per ridurre lo scarto tra la posizione calcolata e quella reale con precisioni centimetriche.



**Figura 24** Correzione differenziale cinematica in tempo reale (RTK) applicata ad un contesto dinamico di agricoltura di precisione [Perez-Ruiz M. et al. 2021]

Il Network RTK, infine, rappresenta un'ulteriore evoluzione del sistema in cui la correzione del segnale viene resa accessibile all'utenza tramite una connessione internet da un centro di controllo collegato ad una rete di stazioni GNSS permanenti che acquisiscono in modo continuativo tutti i segnali emessi dai satelliti del segmento spaziale [Calcante A. et al. 2016; Rizos C., 2002].

## SISTEMI INFORMATIVI GEOGRAFICI

Il dato di posizione geografica, opportunamente corretto, della variabile oggetto di studio in agricoltura (e.g.: resa culturale, quantità di concime, etc) può essere elaborato e visualizzato tramite l'utilizzo di Sistemi Informativi. Un Sistema Informativo viene detto Geografico (GIS) quando è progettato per operare con dati relativi allo spazio geografico: esso conterrà specifiche funzioni per acquisire, elaborare, gestire e restituire dati geografici.

Un Geographic Information System (Sistema Informativo Geografico o anche Sistema Informativo Territoriale), generalmente abbreviato in GIS, è un sistema informativo computerizzato che permette l'acquisizione, registrazione, analisi, visualizzazione, restituzione, condivisione e presentazione di informazioni derivanti da dati geografici (geo-riferiti) [Chang, K. T., 2016]. È quindi un sistema informatico in grado di associare dei dati alla loro posizione geografica sulla superficie terrestre e di elaborarli per estrarne informazioni.

Un GIS è l'insieme complesso di risorse hardware, software, umane ed intellettive per acquisire, processare, analizzare, immagazzinare e restituire in forma grafica ed alfanumerica dati riferiti ad un territorio [Caiaffa, 2006]. Nuove informazioni territoriali, sia quantitative sia qualitative, sono ottenute anche attraverso l'analisi e l'elaborazione di immagini e dati telerilevati, derivanti da specifici sensori posti su aerei, satelliti, droni, sonde, trattici, macchine operatrici, che permettono l'individuazione, la classificazione e il monitoraggio di oggetti (e fenomeni) ubicati sulla superficie terrestre e in atmosfera attraverso la misurazione della radiazione elettromagnetica da loro riflessa e/o emessa.

La capacità di organizzare i dati territoriali georiferiti in layer tematici sovrapponibili rende i sistemi GIS fondamentali non solo per quanto attiene l'archiviazione, gestione, analisi ed elaborazione delle informazioni disponibili ma anche per quanto riguarda la loro visualizzazione e rappresentazione cartografica, essenziale strumento di sintesi e inquadramento dei sistemi naturali osservati e delle loro manifestazioni.

---

## FUNZIONALITÀ PRINCIPALI DEI SISTEMI GIS

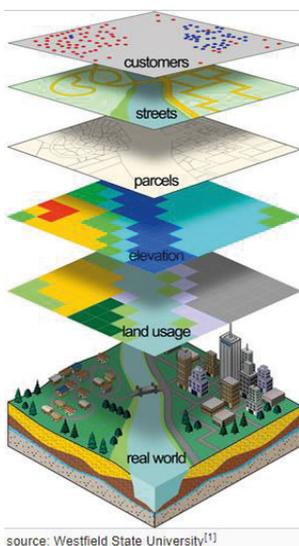
Il GIS consente di mettere in relazione tra loro dati diversi, sulla base del loro comune riferimento geografico (georeferenziazione) in modo da creare nuove informazioni a partire dai dati esistenti.

La tecnologia GIS integra in un unico ambiente le più comuni operazioni legate all'uso di database (interrogazioni e analisi statistiche) con l'analisi geografica consentita dalle cartografie numeriche, sia raster che vettoriali. I GIS permettono di analizzare una entità geografica sia per la sua completa natura geometrica (e simbolica) sia per il suo totale contenuto informativo. Ciò è reso possibile dall'integrazione di due sistemi prima separati: i sistemi di disegno computerizzato (CAD-Computer Aided Design) e i database relazionali (DBMS-Data Base Management System).

I GIS presentano normalmente delle funzionalità di analisi spaziale ovvero di trasformazione ed elaborazione degli elementi geografici degli attributi [Cartogis, <https://www.cartogis.it/>].

Esempi di queste elaborazioni sono:

- l'overlay topologico: in cui si effettua una sovrapposizione tra gli elementi dei due temi per creare un nuovo tematismo (ad esempio per sovrapporre il tema dei confini di un parco con i confini dei comuni per determinare le superfici di competenza di ogni amministrazione o la percentuale di area comunale protetta);
- le interrogazioni spaziali, ovvero delle interrogazioni di basi di dati a partire da criteri spaziali (vicinanza, inclusione, sovrapposizione etc.);
- il buffering: da un tema puntuale, lineare o poligonale definire un poligono di rispetto ad una distanza fissa o variabile in funzione degli attributi dell'elemento;
- la segmentazione: algoritmi di solito applicati su temi lineari per determinare un punto ad una determinata lunghezza dall'inizio del tema;
- la network analysis: algoritmi che da una rete di elementi lineari (es. rete stradale) determinano i percorsi minimi tra due punti;
- l'analisi spaziale: algoritmi che utilizzando modelli dati raster effettuano analisi spaziali di vari tipi, ad es: analisi di visibilità;
- analisi geostatistiche: algoritmi di analisi della correlazione spaziale di variabili georeferite.



**Figura 25 Overlay topologico [Westfield state University]**

Per la rappresentazione dei dati in un sistema informatico occorre formalizzare un modello rappresentativo flessibile che si adatti ai fenomeni reali. Nel GIS abbiamo tre tipi di informazioni:

- geometriche: relative alla rappresentazione cartografica degli oggetti rappresentati; quali la forma (punto, linea, poligono), la dimensione e la posizione geografica;
- topologiche: riferite alle relazioni reciproche tra gli oggetti (connessione, adiacenza, inclusione);
- informative: riguardanti i dati (numerici, testuali) associati ad ogni oggetto.

Il GIS prevede la gestione di queste informazioni in un database relazionale.

L'aspetto che caratterizza il GIS è quello geometrico: esso memorizza la posizione del dato impiegando un sistema di proiezione reale che definisce la posizione geografica dell'oggetto.

Il GIS gestisce contemporaneamente i dati provenienti da diversi sistemi di proiezione e riferimento (es. UTM o Gauss Boaga) (Di Prinzio, L. 2004).

## SENSORI E TECNOLOGIE PER IL MONITORAGGIO DELLA VARIABILITÀ SPAZIO TEMPORALE DI SUOLI E COLTURE

Il monitoraggio delle proprietà agronomiche del suolo e della variabilità spaziale e temporale delle caratteristiche di una coltura è fondamentale ai fini di una gestione sito specifica delle operazioni colturali. Per questo motivo l'agricoltura di precisione ricorre a tecnologie sensoristiche, tramite rilevamento prossimale o remoto in grado di raccogliere una moltitudine di dati georeferenziati per una mappatura completa di un appezzamento agricolo, un archivio di informazioni utili per la sua gestione ottimale.

L'obiettivo principale dell'agricoltura di precisione è quello di individuare le "zone omogenee", che possano permettere applicazioni a dose variabile (VRT) di lavorazioni meccaniche, fertilizzanti, acqua e prodotti fitosanitari, semi. A tale scopo è necessario acquisire informazioni sullo stato del suolo, dello sviluppo e dell'eventuale stress, della coltura considerata. I dati acquisiti possono poi essere integrati con quelli derivanti dai sensori posizionati sulle macchine per la raccolta al fine di valutare la resa colturale.

La distanza alla quale si trova il sensore, rispetto al materiale da rilevare, può variare da pochi metri a centinaia di chilometri; pertanto, in base alla distanza [Casa et al.,2016], si possono classificare:

- Prossimali, quando sono portati da un operatore o trasportati a bordo di macchine agricole;
- Aerotrasportati, quando sono posti a bordo di aerei o droni, cioè sistemi aeromobili a pilotaggio remoto (SAPR);
- Satellitari, quando sono inseriti su piattaforme satellitari.

Una dettagliata cartografia pedologica può essere ottenuta per esempio grazie al ricorso di sensori prossimali, suddivisibili in geofisici e in sensori basati sulla spettroradiometria [Priori et al. 2016], così come mediante sensori remoti aerotrasportati a bordo di droni, o tramite il telerilevamento da piattaforme satellitari.

Il primo gruppo di sensori prossimali comprende tecnologie in grado di determinare la conducibilità elettrica apparente del suolo misurando una differenza di potenziale generata dall'immissione di un campo elettrico nel terreno. Questi sensori, installabili su macchine agricole, possono essere di tipo invasivo, se richiedono il contatto diretto col suolo come i georesistivimetri mobili, oppure non invasivi come i sensori ad induzione elettromagnetica ed i georadar. I sensori prossimali basati sulla spettroradiometria comprendono sia gli spettrometri di raggi gamma, che misurano l'energia dei fotoni emessi naturalmente dal terreno, così da correlare la quantità di isotopi radioattivi con la

mineralogia del suolo, la tessitura o la pietrosità superficiale, ed ancora gli spettrofotometri di riflettanza Vis-NIR che si basano sulla determinazione della firma spettrale del suolo, ottenuta dalla misurazione del rapporto tra la radiazione elettromagnetica riflessa dalla superficie del suolo e quella incidente su di essa [Priori et al. 2016]. Recentemente sono stati sviluppati misuratori di conduttività elettromagnetica per indagini multi-strato portatili. Gli elettromagnetometri CMD lavorano per profondità da 0.15 a 60 m e consentono misurazioni veloci di conduttività con qualsiasi condizione del terreno (incluso terreno molto secco e ghiacciato). Le sonde sono equipaggiate con 1, 3 o 6 ricevitori con un'eccellente stabilità del segnale. Consentono la mappatura in profondità ad alta risoluzione oltre all'imaging delle sezioni, utile per un'ampia gamma di applicazioni.

Lo studio della variabilità del suolo mediante monitoraggio satellitare o tramite droni equipaggiati con telecamere rappresenta una valida alternativa ai metodi sopra citati per una mappatura del terreno rapida ed accurata. Il telerilevamento, applicato al contesto dell'agricoltura di precisione, può ricorrere a sensori spettroscopici del dominio ottico, infrarosso o microonde in grado di rilevare l'energia elettromagnetica emessa dalle componenti chimiche del suolo per una stima quantitativa e qualitativa delle sue proprietà.

L'elaborazione dei dati raccolti da questi strumenti può consentire quindi la creazione di mappe descrittive circa le caratteristiche chimiche, fisiche e strutturali di un terreno, per l'attuazione di approcci mirati in base all'effettiva conoscenza del terreno.

Anche per lo studio dello stato delle colture vengono utilizzati sensori remoti o prossimali. Particolari vantaggi sono offerti dalle tecniche di telerilevamento, che sfruttando i dati acquisiti dai satelliti, permettono di ottenere una frequenza di rilevazione molto più elevata rispetto alle tecniche di acquisizione prossimale (sensori posizionati su trattori o manuali) o aerotrasportata (sensori posizionati sui droni).

Nel telerilevamento, vengono utilizzati sensori che possono essere raggruppati in due grandi gruppi [Boschetti et al., 2001]:

- Sensori attivi, che oltre a rilevare l'energia elettromagnetica proveniente dalla superficie, producono essi stessi, l'energia necessaria per illuminare la scena da riprendere; esempi di sensori attivi sono il radar (opera nel range delle microonde) ed il lidar (opera nel range del visibile e dell'infrarosso). Essi inviano un fascio di radiazioni, e successivamente, registrano il segnale di ritorno dopo che questo ha interagito con la superficie indagata.
- Sensori passivi, sono quel gruppo di sensori che non emettono energia propria, ma sfruttano solo la radiazione elettromagnetica emessa da altre sorgenti luminose (es. sole). Questi sensori passivi sono divisi in due tipi: operanti nel visibile e

nell'infrarosso vicino e medio e quelli invece che operano principalmente nell'infrarosso termico.

I dati che vengono rilevati permettono di ottenere delle immagini digitali. Le caratteristiche intrinseche di queste immagini dipendono, a loro volta, dalla risoluzione dei sensori e delle piattaforme che hanno acquisito i dati. Principalmente vengono utilizzati sensori multispettrali e iperspettrali [Papi, 2018]. I sensori multispettrali registrano la radiazione riflessa in un numero ridotto di bande larghe (broadbands) e, per questo motivo, non consentono di monitorare informazioni spettrali di dettaglio. I sensori multispettrali più diffusi in commercio sono quelli caratterizzati da un numero di bande comprese tra 2 e 8. Le frequenze più utilizzate sono quelle del rosso (650nm) e del NIR (800nm). I sensori iperspettrali, registrano la riflettanza in un numero molto elevato di bande strette (narrowbands), forniscono uno spettro quasi continuo nell'intervallo del visibile NIR e SWIR (350-2500 nm) e consentono una rapida ed accurata valutazione dello stato della vegetazione [Casa et al., 2016].

Per il monitoraggio delle colture, e dello sviluppo della vegetazione eseguito in maniera prossimale (con sensori montati sulle macchine operatrici o manuali) si utilizzano tre tipologie di sensore: ottico, ad ultrasuoni e laser [Bora et al., 2015]. Due sensori ottici molto diffusi al momento in agricoltura sono GreenSeeker (Trimble, Sunnyvale, CA, USA), nei diversi modelli disponibili e gli SPAD (Soil Plant Analysis Development) meters (Konica Minolta, Japan). GreenSeeker fornisce una misura dell'NDVI, emettendo lunghezze d'onda nel rosso (660 nm) e nell'infrarosso (770 nm) e rilevandone la riflettanza da parte della pianta. Esistono versioni diverse, utilizzabili in mano dall'operatore oppure da 10 montare su trattore. Lo SPAD meter funziona in modo simile, ma è costituito da una sorta di molletta che va chiusa sulla singola foglia. La luce è emessa nel rosso (650 nm), frequenza correlata al picco di attività della clorofilla, e a 940 nm, frequenza legata allo spessore della foglia e al contenuto di umidità, ed è misurata l'assorbimento del tessuto vegetale. Il dato fornito dallo strumento è una stima del contenuto di clorofilla ed è compreso tra -9,9 e 199,99. [Freidenreich et al., 2019].

I sensori ad ultrasuoni sono più semplici e molto più economici dei precedenti. Viene emesso un segnale acustico ad elevata frequenza, che rimbalza sulla superficie vegetale e torna al ricevitore. Sulla base del tempo di ritorno si ha una stima della distanza tra il dispositivo e l'oggetto. Combinando più sensori (almeno tre) e rilevazioni continue nel tempo, è possibile ottenere in tempo reale una stima accurata del volume della vegetazione [Bernardi, E 2020].

La tecnologia laser è stata usata in diverse occasioni per caratterizzare la chioma di colture arboree. In particolare, si usano dei dispositivi LIDAR (Light Detection and Ranging), in grado di misurare la distanza da un oggetto rilevando il tempo che un impulso laser impiega per raggiungerlo. A differenza dei precedenti, questo

tipo di sensore è impiegabile sia nel proximal sensing che nel remote sensing da aereo o drone, in quanto può funzionare anche a distanze notevoli dall'obiettivo [Tagarakis et al., 2017].

## SENSORI PER LA MAPPATURA E TECNOLOGIE APPLICATE NEL PROGETTO ADP4DURUM

Le tecnologie disponibili per la realizzazione della mappatura del terreno e della coltura si avvalgono della geolocalizzazione sin qui esposta. Le informazioni raccolte da un sensore devono essere abbinate alle coordinate del punto in cui avviene la lettura. In questo modo è possibile, sia in tempo reale che in fase successiva di elaborazione, la preparazione della mappa di distribuzione delle informazioni, siano esse relative al terreno che alla coltura.

Per quanto riguarda il terreno le tecnologie si basano sulla possibilità di immissione di un campo elettrico o magnetico al suolo e sulla contestuale capacità di lettura del ritorno del campo da parte di un altro organo dello strumento. In genere le apparecchiature sono costituite da carrelli con ruote metalliche nel caso di segnale elettrico o da barre magnetiche posizionabili su una trattrice.

Il concetto di base è relativo alle proprietà fisiche della conducibilità dell'acqua. Pertanto la lettura del segnale, facendo riferimento alla minore o maggiore trasmissione del campo immesso, rappresenta la corrispondente presenza di acqua nel terreno.

Questa informazione può quindi aiutare a definire zone a differente contenuto di acqua e presumibilmente zone con caratteristiche intrinseche differenti tra loro. In questo modo non solo si può avere una rappresentazione immediata dell'uniformità o della variabilità del terreno, ma tale distribuzione permette anche un campionamento mirato, ai fini analitici.

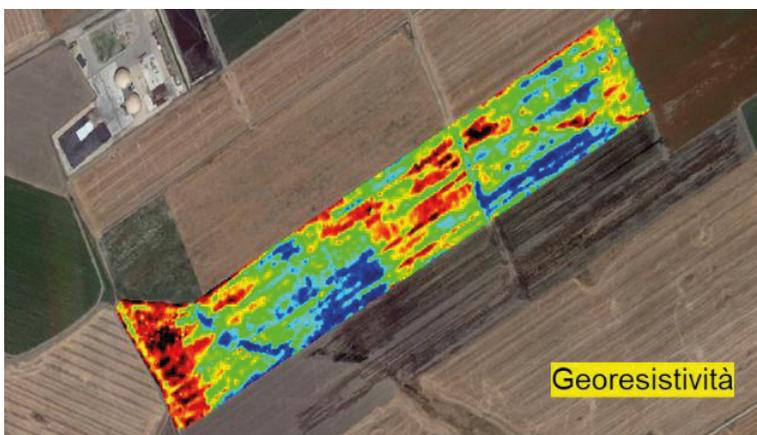


**Figura 26 Sistema di acquisizione dei valori geoelettrici (GEOCARTA)**

Pertanto ad una visione di insieme ottenibile attraverso la mappatura della georesistività è opportuno abbinare una serie di analisi fisiche di campioni geolocalizzati per l'individuazione dell'origine dell'eventuale variabilità.

Nelle attività del progetto AdP4durum sono state utilizzati una serie di sensori e macchinari in grado di analizzare le caratteristiche del suolo.

Nello specifico è stato condotto un approfondimento metodologico su un appezzamento di circa 10 ettari in provincia di Foggia. In particolare, è stata generata la mappa di georesistività dell'intero appezzamento attraverso il servizio di consulenza prestato dalla ditta GEOCARTA.

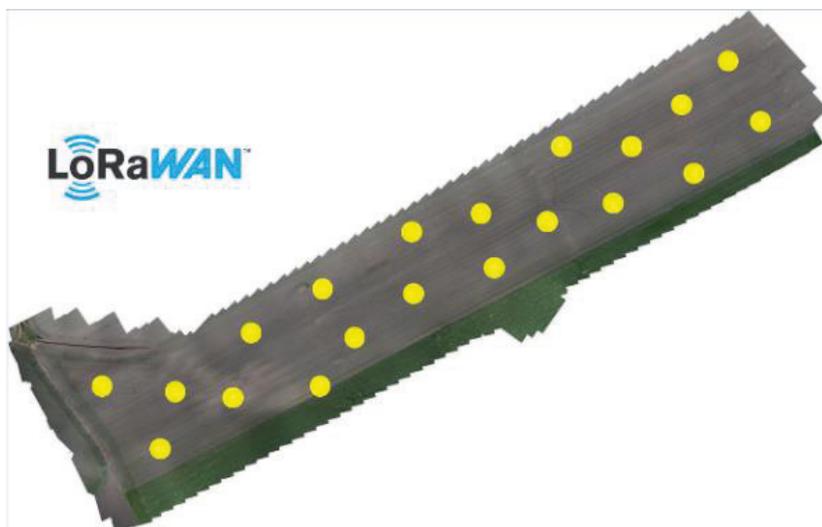


**Figura 27 Mappa della distribuzione geoelettrica**

Per l'analisi delle caratteristiche del suolo nel tempo è stata posizionata una rete di sensori di umidità, temperatura e conducibilità elettrica in corrispondenza di 20 nodi collegati ad un ricevitore per la trasmissione dei dati.

Per la gestione della rete di sensori è stata creata una pagina web <http://80.211.58.133/creal/index.html> attraverso la quale è stato possibile monitorare i parametri del suolo fino alla raccolta. Le attività svolte sono state mirate allo studio della variabilità spaziale delle caratteristiche del terreno.

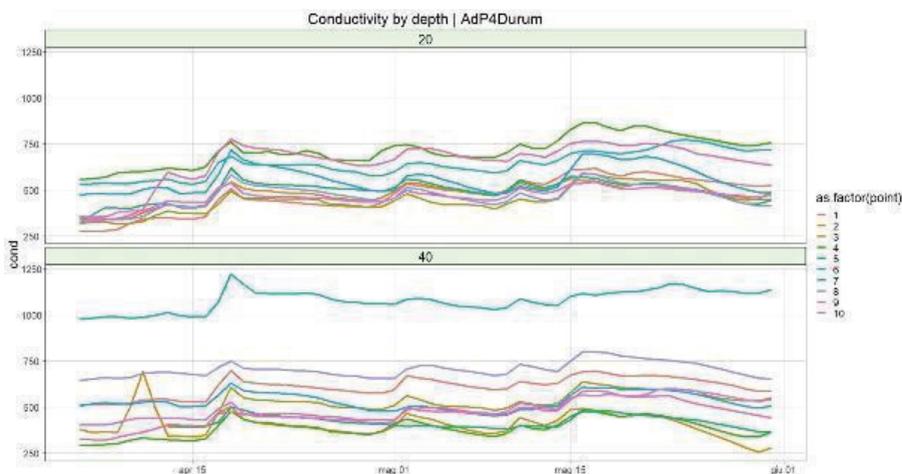
I dati registrati in ciascun nodo della rete di sensori sono stati oggetto di analisi spaziale ed interpolati per generare delle mappe tematiche di conducibilità ed umidità del suolo.



**Figura 28** Mappa dei 20 nodi dislocati nell'apezzamento.



**Figura 29** Installazione di una sonda (sx) e ricevitore-trasmittitore dati (dx).



**Figura 30 Valori medi di conducibilità elettrica del suolo rilevati dai sensori posizionati a 20 e 40 cm di profondità nell'appezzamento di 10 ha durante il ciclo culturale del frumento duro**

Per quanto riguarda la coltura, le tecnologie di riferimento attuali fanno riferimento alla preparazione di indici spettrali, tra cui uno dei più comuni l'NDVI, ovvero di indicatori matematici basati sulla riflessione di alcune radiazioni dalla superficie delle piante. Tali indici possono essere ricavati da sensori posizionati sulle macchine trattrici (on-the-go) o posti su aste e supporti, rimanendo quindi in una condizione prossimale. Altrimenti possono essere posizionati su droni o satelliti nelle condizioni remote.

Chiaramente il passaggio dalla condizione prossimale a quella distale genera differenze di risoluzione e quindi di densità dell'informazione.

Per la valutazione della variabilità spaziale delle caratteristiche del frumento coltivato sul campo di prova del progetto AdP4Durum è stata avviata una campagna di rilevamento dell'indice di vegetazione NDVI mediante l'utilizzo di droni per un totale di 10 rilievi. Inoltre, attraverso l'analisi delle serie storiche ottenute dal satellite Sentinel 2, sono state elaborate mappe della distribuzione dell'NDVI nelle coltivazioni dei tre anni precedenti.



**Figura 31 Aree omogenee definite in base all'analisi dell'indice NDVI ottenuto dalle serie storiche di Sentinel 2 e dai voli di drone.**

L'attività svolta nel campo di riferimento di dieci ettari è stata necessaria per poter confrontare diverse fonti informative di natura e origine differente (georesistività, caratteristiche termoisometriche del terreno, stato della coltura da fonte prossimale e remota). Tale attività si è resa necessaria sia per l'interpretazione della distribuzione dei valori, ma anche per calibrare le attività di gestione della variabilità spatio-temporale dei campi in prova del progetto AdP4Durum e la conseguente gestione sito-specifica del frumento duro.

## BIBLIOGRAFIA

- Bernardi, E (2020). Concimazione primaverile a rateo variabile on-the-go tramite l'utilizzo di sensore spettrale prossimale in vigneto.
- Bernardini, F. (2008). Il posizionamento satellitare compie trent'anni: lo stato dell'arte del GNSS. GEOmedia n.3.
- Bisaglia, C. (2018). Agricoltura di precisione in Italia: un'opportunità di aggiornamento delle agrotecniche, di sviluppo professionale e di efficienza del settore. Agriregioneuropa anno 14 n°53, 2018. Disponibile al sito:

<https://agrireregionieuropa.univpm.it/it/content/article/31/53/agricoltura-di-precisione-italia-unopportunita-di-aggiornamento-delle>.

- Bora, G., Mistry, P., Lin, D., 2015, Evaluation of sensors for sensing characteristics and field of view for variable rate technology in grape vineyards in North Dakota, Journal of Applied Horticulture 17, 96-100
- Boschetti M., Bolzan L., Bresciani M., Giardino C., L'Astorina A., Lanari R., Manuta M., Mauri E., Zilioli E. (2001) – Telerilevamento. Ministero dell'istruzione, dell'università e della ricerca. Dipartimento per la programmazione il coordinamento e gli affari economici, servizio per lo sviluppo e il potenziamento delle attività di ricerca (SSPAR). Vol. 3
- Caiaffa, E. SISTEMI INFORMATIVI GEOGRAFICI, 2006 ISBN 88-826-140-6
- Calcante, A., Lazzari, M., Sartori, L. (2016). Sistemi di posizionamento globale e sistemi di guida delle macchine agricole. In: Casa, R. Agricoltura di precisione. Metodi e tecnologie per migliorare l'efficienza e la sostenibilità dei sistemi colturali. Edagricole Calderini.
- CARTOGIS, <https://www.cartogis.it/gis/>
- Casa, R., Pisante, M. (2016). Introduzione. In: Casa, R. Agricoltura di precisione. Metodi e tecnologie per migliorare l'efficienza e la sostenibilità dei sistemi colturali. Edagricole Calderini.
- Casa R., Pignatti S., Pascucci S., Castaldi F., Vincini M. (2016) – Il telerilevamento in agricoltura di precisione. Agricoltura di precisione, metodi e tecnologie per migliorare l'efficienza e la sostenibilità dei sistemi colturali, Edagricole.
- Chang, K. T. (2016). Geographic information system. International encyclopedia of geography: people, the earth, environment and technology, 1-10.
- Di Prinzio, L. (2004). Sistemi informativi geografici. Italia. Atlante dei Tipi Geografici, 73-75.
- Dusadeerungsikul, P.O., Liakos, V., Morari, F., Nof, S.Y., Bechar, A. (2020). Chapter 5 - Smart action. In: Castrignanò, A., Buttafuoco, B., Khosla, R., Mouazen, A.B., Moshou, D., Naud, O. Agricultural Internet of Things and decision support for precision smart farming. Academic Press. DOI: 10.1016/C2018-0-00051-1.

- El-Hallaq, M.A. (2013). The Current Status of Global Navigation Satellite Systems GNSS. Case Study: Comparative study of getting positions in Gaza City based on operating GNSS Systems. IUG Journal of Natural and Engineering Studies, Vol.21, No.2, pp 35-49.
- Freidenreich, A., Barraza, G., Jayachandran, K., Khoddamzadeh, A., 2019, Precision agriculture application for sustainable nitrogen management of justicia brandegeana using optical sensor technology, Agriculture (Switzerland) 9, 98.
- GISGeography. How GPS Receivers Work – Trilateration vs Triangulation. Disponibile al sito: <https://gisgeography.com/trilateration-triangulation-gps/>
- Hoffman-Wellenhof, B., Lichtenegger, H., Wasle E. (2008). GNSS – Global Navigation Satellite Systems. GPS, GLONASS, Galileo, and more. Springer Vienna. <https://doi.org/10.1007/978-3-211-73017-1>.
- ISPA – International Society of Precision Agriculture, Precision AG Definition. (2021). Disponibile al sito: <https://www.ispag.org/about/definition>.
- Kaplan, D.E., Leva, J.L., Milbert, D., Pavloff, M.S. (2005). Fundamentals of Satellite Navigation. In: Kaplan, D.E, Hegarty, C. Understanding GPS: Principles and Applications, second edition. Artech House Publishers.
- Krishna, K.R. (2013). Precision Farming – Soil Fertility and Productivity Aspects. Apple Academic Press. <https://doi.org/10.1201/b14538>.
- Kvíz, Z., Kroulík, M., Chyba, J. (2014). Machinery guidance systems analysis concerning pass-to-pass accuracy as a tool for efficient plant production in fields and for soil damage reduction. Plant, Soil and Environment 60(1):36-42. DOI: 10.17221/622/2012-PSE.
- Mattetti M. Agricoltura 4.0 cos'è e a cosa serve. Macchine e Motori Agricoli. Disponibile al sito: <https://macchinemotoriagricoli.edagricole.it/tecnica/agricoltura-4-0-cose-e-a-cosa-serve/>
- Mogorovich, P. "La Topologia" – Monografia per l'Enciclopedia di Mondo GIS" – Mondo GIS, n.39, nov-dic. 2003, pgg. 89-96
- Papi, S. (2018). Agricoltura di precisione. Sensori applicati alle operazioni meccanizzate.

- Parker, M. (2008). Decca Navigator – Overview. Disponibile al sito: [http://www.jproc.ca/hyperbolic/decca\\_oview.html](http://www.jproc.ca/hyperbolic/decca_oview.html)
- Perez-Ruiz, M., Martínez Guanter, J., Upadhyaya, S.K. (2021). High-precision GNSS for agricultural operations. In: Petropoulos, G.P., Srivastava, P.K. GPS and GNSS Technology in Geosciences. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/C2018-0-04209-7>
- Peyret, F., Gilliéron, P.Y., Ruotsalainen, L., (2015). SaPPART White paper: Better use of Global Navigation Satellite Systems for safer and greener transport. Proceedings of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences
- Priori, S., De Benedetto, D., Stellacci, A.M., Losciale, P., Manfrini, L. (2016). Sensori e metodi per rilievi prossimali delle proprietà del suolo e della coltura. In: Casa, R. Agricoltura di precisione. Metodi e tecnologie per migliorare l'efficienza e la sostenibilità dei sistemi colturali. Edagricole Calderini.
- Ristic, A., Govedarica, M., Petrovacki, D. (2010). GNSS: Status and perspective. Journal on Processing and Energy in Agriculture, 14 (1):6-10.
- Rizos, C. (2002). Network RTK Research and Implementation: A Geodetic Perspective. Journal of Global Positioning Systems, 1(2):144-150. DOI: 10.5081/jgps.1.2.144
- Surace, L. La georeferenziazione delle informazioni territoriali. Relazione invitata alla 1° Conferenza Nazionale delle Associazioni Scientifiche per le Informazioni Territoriali e Ambientali (Parma, 30 settembre-3 ottobre 1997)
- Tagarakis, A., Koundouras, S., Fountas, S., Gemtos, T., 2017, Evaluation of the use of LIDAR laser scanner to map pruning wood in vineyards and its potential for management zones delineation. Precision Agriculture, 19, 334-347.
- Walter, T. (2020). Satellite-Based Augmentation Systems (SBASs). In: Morton, Y.J., Van Digglen, F., Spilker, J.J., Parkinson, W.B. Position, Navigation, and Timing Technologies in the 21st Century: Integrated Satellite Navigation, Sensor Systems, and Civil Applications. Wiley-IEEE Press; 1st edition

- Wells, D., Grant, S. (2003). Technical developments in depth measurement techniques and position determination from 1960 to 1980. GEBCO Centenary Conference 1903-2003

## CAPITOLO 3

### APPLICAZIONE SITO-SPECIFICA DELLA FERTILIZZAZIONE AZOTATA

La concimazione azotata nelle colture agrarie è indispensabile per il raggiungimento di risultati produttivi ottimali e per il mantenimento della fertilità del suolo.

Anche le tecniche di nutrizione azotata si sono evolute nel tempo: in passato l'obiettivo era quello di fornire azoto ed altri elementi nutritivi al fine di massimizzare la resa della coltura; oggi, si pone maggiore attenzione all'ambiente che, congiuntamente all'incremento dei costi dei fertilizzanti, favorisce un uso più razionale delle risorse [Bertora *et al.*, 2011] cercando di distribuire quantitativi sempre più mirati a seconda di criteri conservativi. L'AdP permette il perseguimento degli obiettivi sopracitati favorendo un uso razionale delle risorse abbinato ad un vantaggio in termini di tempi operativi ed ergonomia delle lavorazioni.

I concimi azotati necessari all'ottenimento di rese agrarie ottimali possono essere divisi in due categorie: concimi organici, ovvero materiali che apportano al terreno agrario sostanza organica (di origine animale, vegetale o mista) mineralizzabile e concimi minerali, ovvero prodotti derivati da minerali inorganici o realizzati mediante processi di sintesi.

Tali tipologie di concimi oggi sono gestibili anche attraverso l'utilizzo di macchine per la distribuzione con criteri di precisione basati sia su sensori cosiddetti on-the-go sia su mappe di prescrizione; in tal modo è possibile fornire dosi variabili di concime (di solito due o tre) sulla base della variabilità presente nel suolo e nella coltura di cui si individuano almeno due o tre zone omogenee.

## LA GESTIONE DELLA VARIABILITÀ IN CAMPO

La raccolta di dati e informazioni riguardanti le proprietà del terreno e/o lo stato della coltura sono fondamentali per affrontare in modo oggettivo la variabilità presente in campo.

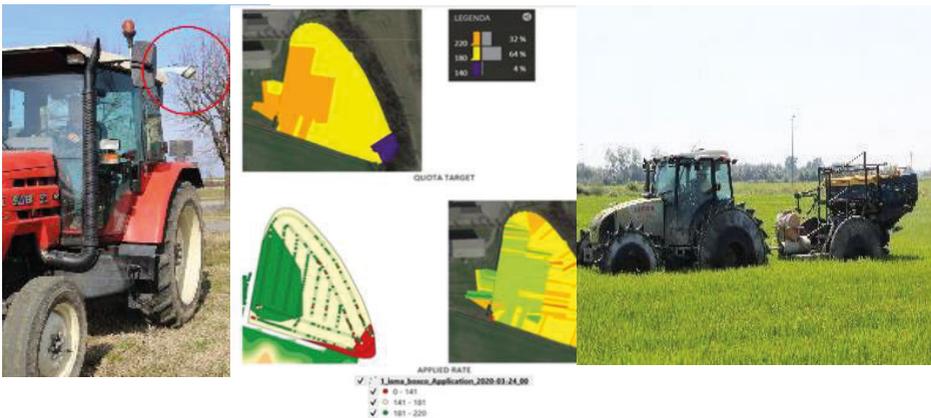
Un primo possibile passo per la gestione della variabilità è la mappatura delle rese; ciò significa registrare il dato produttivo abbinato alla posizione geografica del punto all'interno dell'appezzamento. Questo risultato è ottenibile grazie alle moderne macchine da raccolta. Tecnologie più avanzate prevedono il

monitoraggio della coltura e del terreno mediante l'utilizzo di immagini satellitari o da voli di drone e la scansione dell'appezzamento con metodi speditivi e non invasivi (Figura 32).



**Figura 32 Sensore per la valutazione della resa produttiva installato su macchina da raccolta (sx), Sensore per la valutazione delle caratteristiche fisiche del suolo (dx).**

Tutti questi dati vengono successivamente rielaborati col fine di elaborare una mappa di prescrizione, ovvero una mappa dell'appezzamento oggetto di studio in cui è riportato in ogni zona omogenea la quantità di concime (o altro) da distribuire (Figura 33).



**Figura 33 Esempio di processo per la rilevazione di informazioni agronomiche in formato digitale (a sinistra), la redazione di mappe prescrizione (al centro) e la distribuzione in campo di tre dosi mediante un cantiere meccanico digitale (a destra).**

## La distribuzione sito-specifica dei fertilizzanti minerali

Per la distribuzione dei concimi minerali granulari vengono utilizzate principalmente due tipologie di macchine operatrici: gli spandiconcime centrifughi e gli spandiconcime pneumatici, mentre per quelli liquidi possono essere utilizzate macchine irroratrici di precisione (non trattate nel presente lavoro).

Gli spandiconcime centrifughi, sia per le caratteristiche strutturali macchina, sia per le capacità di lavoro, sono le tipologie che meglio si adattano all'implementazione tecnologica, rendendola adatta all'agricoltura di precisione.

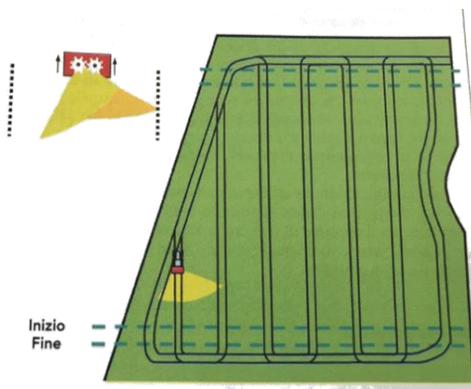
Le principali aziende del settore hanno, infatti, sviluppato e messo a punto dei sistemi in grado di gestire la distribuzione tenendo conto anche dei bordi del campo, di evitare la distribuzione in zone già fertilizzate di regolare la dose da distribuire sulla base di mappe di prescrizione o secondo le rilevazioni di sensori ottici a bordo. Le operatrici adatte all'agricoltura di precisione devono essere azionate da un trattore dotato di centraline elettroniche, connessione ISOBUS e sistema di posizionamento satellitare (GNSS).

Il controllo della dose è effettuato mediante l'installazione di motori elettrici sulla saracinesca posizionata in fondo al cassone dello spandiconcime per regolare la quantità di prodotto in uscita e grazie alla presenza di celle di carico per monitorare la quantità distribuita (Figura 34).



Figura 34 Spandiconcime centrifugo dotato di sensori per l'AdP e trattore ISOBUS con posizionamento GNSS (sx). Mappa di distribuzione a rateo variabile del concime (dx).

Al contrario, il controllo della larghezza di lavoro della macchina e della distribuzione sui bordi è messo in atto dai soli dischi controrotanti: la velocità dei dischi viene gestita individualmente in modo da proiettare il prodotto a distanze variabili a piacere (Figura 35).



**Figura 35 Rappresentazione grafica del controllo della larghezza di lavoro durante la distribuzione del concime. (Fonte: Casa R., 2016)**

## LA DISTRIBUZIONE SITO-SPECIFICA DEI FERTILIZZANTI ORGANICI

I concimi organici consentono l'apporto al terreno agrario di sostanza organica (di origine animale, vegetale o mista); possono essere liquidi o solidi (palabili). A seconda delle caratteristiche fisiche del materiale da distribuire vengono adottate macchine differenti.

La distribuzione dei concimi organici liquidi (liquami, digestati) avviene mediante carri spandiliquame. Affinché lo spandiliquame risponda delle caratteristiche dell'AdP deve essere dotato di erogatori con o senza interrimento del refluo, alimentati da pompe a portata variabile e controllati da centralina elettronica in modo da poter gestirne la portata. In questo modo, grazie a sistemi basati su elettrovalvole si può controllare la quantità di refluo distribuito ed evitare sovrapposizioni sia lungo sia a bordo campo (Figura 36).

Ovviamente, l'operatrice adibita allo spandimento deve essere connessa ad un trattore idoneo, con le caratteristiche già descritte.

La distribuzione di concimi organici pone una grossa sfida all'AdP: il titolo fertilizzante è altamente variabile e generalmente non determinato dagli allevatori. Le nuove tecnologie basate sulla spettroscopia NIR permettono, invece, un'analisi



**Figura 36 Spandiliquame semovente di precisione con guida automatica, controllo della dose distribuita e sensore NIR per la determinazione del contenuto in azoto**

delle caratteristiche chimiche del liquame e conseguentemente la gestione della dose distribuita in modo istantaneo.

La distribuzione dei concimi organici palabili avviene mediante carro spandiletame. L'applicazione sito-specifica del concime in questo caso dipende molto dalle caratteristiche fisiche del prodotto da distribuire che possono essere anche molto variabili.

In merito sono stati realizzati interessanti prototipi in grado di gestire più precisamente possibile la distribuzione di questi materiali. Langrie *et al.* (2006) hanno sviluppato un prototipo di spandiletame di precisione dotato di paratia mobile posteriore in grado di regolare il flusso in uscita di prodotto e successive implementazioni hanno portato a sviluppare anche un sistema di distribuzione che interra il prodotto.

Un ulteriore carro spandiletame con criteri di precisione è stato sviluppato nell'ambito del progetto BiomassHub, finanziato da Regione Lombardia mediante una collaborazione tra il CREA, un costruttore di macchine agricole (Franzosi) e

una ditta di tecnologie informatiche (DigiDevice). Il carro sviluppato prevede anche sensori per il controllo della velocità e delle caratteristiche reologiche del materiale in uscita, connessi mediante collegamento ISOBUS al trattore.

Lo sviluppo e la diffusione di queste attrezzature potrà dare un supporto notevole al contenimento delle problematiche ambientali conseguenti alla distribuzione di reflui organici consentendo non solo la riduzione degli utilizzi in particolare di azoto, ma anche realizzando la tracciabilità nel tempo e nello spazio di tali operazioni a vantaggio di una sempre più efficiente gestione agronomica degli effluenti.

## LA DISTRIBUZIONE SITO-SPECIFICA NEL PROGETTO ADP4DURUM

Le tecnologie che permettono la distribuzione di fertilizzante in modalità sito-specifica sono state applicate nelle sperimentazioni del progetto AdP4Durum per verificarne le potenzialità nelle strategie di conduzione di Agricoltura di Precisione nella coltivazione del frumento duro. L'analisi della variabilità, base necessaria per l'opportuna consapevolezza delle differenti aree nei campi coltivati, è stata condotta una ricerca a partire dalle serie storiche delle informazioni satellitari disponibili da Sentinel-2, con l'obiettivo di identificare e circoscrivere, per due campagne agrarie, le aree omogenee presenti in ciascun appezzamento sulla base sia degli indici spettrali definiti nei periodi più significativi delle colture precedentemente coltivate sulle stesse superfici sia dalle mappe di resa disponibili. Il periodo di osservazione è stato quello degli anni precedenti, in cui, in base alle colture dichiarate dalle aziende, sono state ricercate ed estratte le mappe di riflettanza delle bande spettrali disponibili dai due satelliti Sentinel-2. Al fine di individuare e raccogliere i dati spettrali più idonee è stato preso in considerazione il mese più significativo per la coltura. Le mappe sono state selezionate per la loro assenza di addensamenti nuvolosi. Dalle bande spettrali disponibili è stato ottenuto l'indice NDVI ed è stato calcolato il valore medio del periodo di osservazione. Successivamente, come effettuato l'anno prima, i valori sono stati processati mediante un algoritmo di cluster analysis, processo statistico che ha l'obiettivo di distribuire elementi in gruppi omogenei, al fine di assimilare le coordinate dei terreni in tre aree omogenee, per la costituzione delle aree a differente gestione.



**Figura 37 Esempi di mappe in cui sono distinte le aree a differente gestione**

Funzionali alla predisposizione delle mappe di fertilizzazione azotata, sono state anche le mappe di resa, ovvero le rappresentazioni grafiche ottenute durante la raccolta con macchine geolocalizzate, che riportano la rese ottenute nelle diverse posizioni registrate. Esse possono essere rapportate all'indice di vegetazione e contribuire all'individuazione delle aree omogenee. Identificate le aree omogenee e i confini degli appezzamenti, dopo la distribuzione del fertilizzante secondo la mappa di prescrizione ottenuta, è stata effettuata la fase di valutazione in campo degli effetti di tale distribuzione variabile. I satelliti Sentinel-2 hanno quindi permesso il monitoraggio dell'NDVI che consente di valutare lo stato di vigore della coltura. Per la realizzazione delle mappe di prescrizione la fertilizzazione a rateo-variabile è stato adottato un approccio integrato:

- Sfruttando le informazioni fornite dal Sistema di Supporto alle Decisioni (DSS) per definire la dose media di azoto per ciascuna UP (Unità Produttiva);
- Differenziando la dose media all'interno di ciascuna UP in funzione delle informazioni raccolte fino al momento dell'intervento.

In riferimento al primo punto, nel DSS granoduro.net<sup>®</sup> sono stati inseriti i dati necessari per alimentare il sistema, come le analisi del terreno, le precessioni colturali, il peso dei 1000 semi della varietà, e l'epoca di semina prevista. Sulla base di queste informazioni il DDS ha suggerito gli apporti di elementi nutritivi necessari per la fertilizzazione. Di seguito si riportano alcuni esempi di inserimento dati nel DSS ed i suggerimenti forniti per la definizione della concimazione azotata (Figura 38).

Gestione	ID	O.P.	Utente	Azienda	Descrizione	Nazione	Località	Varietà	Superficie (ha)	Sistema colturale	Funzionalità
	186140	CON CER granoduro	ADP 4 DURUM	ADP 4 DURUM	ADP APP 17 (ADP) TR4	Italia	Foggia	ROT Leonardo	1,79	Comenzonante (obblca integrata obbligatoria)	
	186142	CON CER granoduro	ADP 4 DURUM	ADP 4 DURUM	ADP APP 15 (TRAD) TR4	Italia	Foggia	ROT Leonardo	0,47	Comenzonante (obblca integrata obbligatoria)	
	186140	CON CER granoduro	ADP 4 DURUM	ADP 4 DURUM	ADP APP 15 (ADP) TR4	Italia	Foggia	ROT Leonardo	7,96	Comenzonante (obblca integrata obbligatoria)	
	186138	CON CER granoduro	ADP 4 DURUM	ADP 4 DURUM	ADP APP 14 (TRAD) TR4	Italia	Foggia	ROT Leonardo	2,87	Comenzonante (obblca integrata obbligatoria)	
	186138	CON CER granoduro	ADP 4 DURUM	ADP 4 DURUM	ADP APP 15 (TRAD) TR4	Italia	Foggia	ROT Leonardo	4,10	Comenzonante (obblca integrata obbligatoria)	
	186137	CON CER granoduro	ADP 4 DURUM	ADP 4 DURUM	ADP APP 7 (ADP) DE P	Italia	Foggia	ROT Leonardo	15,40	Comenzonante (obblca integrata obbligatoria)	
	186136	CON CER granoduro	ADP 4 DURUM	ADP 4 DURUM	ADP APP 9 (TRAD) TR4	Italia	Foggia	ROT Leonardo	2,17	Comenzonante (obblca integrata obbligatoria)	

Figura 38 DSS granoduro.net®, elenco unità produttive (UP)

La fase operativa ha previsto quindi la fertilizzazione azotata con differenziazione sito-specifica degli interventi agronomici. Tale fertilizzazione è stata effettuata mediante la produzione delle mappe di prescrizione, trasferite alla trattrice (Figura 39) in grado di geolocalizzare la distribuzione di una specifica dose di azoto preimpostata attraverso l'utilizzo di un file di tipo .shp (shapefile).

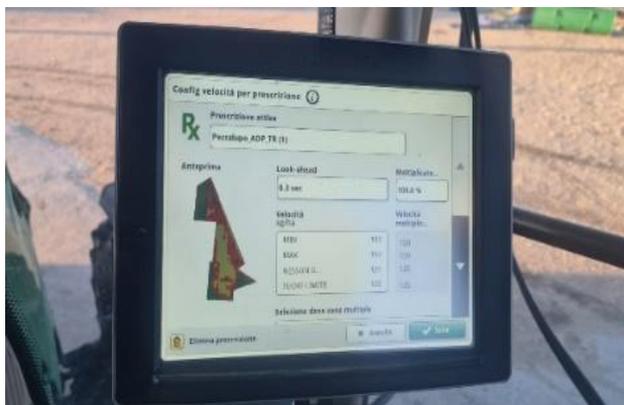


Figura 39 Acquisizione del file contenente la mappa di prescrizione nella trattrice.

Di seguito sono riportate alcune delle mappe di prescrizione (Figura 40) utilizzate per la concimazione a rateo variabile, cioè per la distribuzione di dosi diverse di concime per ognuna delle aree omogenee identificate in ciascuna UP.



**Figura 40** Esempi di mappe di prescrizione con l'indicazione della dose di fertilizzante da distribuire.

Gli apporti di elementi nutritivi necessari per la fertilizzazione sono stati determinati in funzione dei suggerimenti forniti DSS, il quale, come descritto in precedenza, è in grado di suggerire uno specifico quantitativo di azoto da distribuire in funzione della rotazione colturale, dei dati forniti dall'analisi del suolo e dalla varietà di grano duro seminato.

A seguito della fase di individuazione delle dosi, il protocollo di lavoro ha previsto la scelta della tipologia di concime adatto, che potesse garantire assenza di polvere ed uniformità del prodotto da distribuire. Per la prima concimazione la scelta è ricaduta verso un concime con doppio inibitore, in grado di rendere disponibile l'azoto per un tempo maggiore rispetto ad un concime senza inibitore della ureasi, evitando così il fenomeno di volatilizzazione dell'azoto.

Infine, raccolti ed elaborati queste serie di informazioni, timing e dose di intervento sono stati determinati dalla fase fenologica delle piante, dalle informazioni fornite dal DSS e dal monitoraggio in campo dello stato di vigoria della coltura.

La realizzazione delle mappe di prescrizione è stata elaborata seguendo principalmente due strategie al fine di procedere con la miglior soluzione in funzione delle caratteristiche dei singoli appezzamenti:

- **Compensazione:** concimazione basata sul principio di fornire un maggior apporto di azoto ove l'indice di vegetazione è più basso e un minor importo ove è più alto;
- **Differenziazione:** basato sul principio di massimizzare le aree avente un indice di vegetazione maggiore e ridurre nelle aree con basso indice di vegetazione.

La scelta tra i due sistemi di concimazione è basata sulla interpretazione in campo delle immagini satellitari e dall'analisi dello storico poiché in una zona l'indice di vegetazione basso può essere indicativo di diversi fattori quali basso vigore vegetativo, ristagno idrico, fattori legati alle caratteristiche del terreno (ad esempio presenza di scheletro).

Il percorso di sperimentazione intrapreso nel progetto AdP4Durum ha rappresentato l'attuale dinamica che si riscontra nelle strategie di Agricoltura di Precisione, ovvero che il successo di una fertilizzazione azotata sito specifica non dipenda appena dalla disponibilità di una macchina con tecnologia 4.0 ma dipenda soprattutto dall'elaborazione ed interpretazione dei dati da parte di un consulente

esperto, il quale, mediante una attività di analisi critica sia in grado di elaborare la mappa di prescrizione in funzione delle caratteristiche del suolo, della varietà, dell'andamento climatico, della tipologia di fertilizzante disponibile, della valutazione spazio-temporale degli indici di vegetazione e dell'interpretazione delle mappe di resa.

## BIBLIOGRAFIA

- CIA (2022) Rinnovare parco macchine, grazie anche a incentivi Agricoltura 4.0 e guidare gli agricoltori verso la transizione digitale.
- Ufficio Stampa Istat 6° (2010). Censimento generale dell'agricoltura – risultati definitivi.
- Ministero delle politiche agricole, alimentari e forestali (2015). Agricoltura di Precisione – Linee Guida.
- Ministero delle politiche agricole, alimentari e forestali (2015). Linee guida per lo sviluppo dell'agricoltura di precisione in Italia.
- Bucci G., Bentivoglio D., Finco A. (2019). Factors affecting ICT adoption in Agriculture: a case study in Italy. Quality - Access to Success 20(S2) pp. 122-129.
- Fieragricola/Nomisma 2018. Agricoltura 2007-2017: cosa è cambiato? [http://www.fieragricola.it/application/files/9815/1681/4991/Presentazione\\_ricerca\\_Fieragricola-Nomisma\\_\\_24-1-18.pdf](http://www.fieragricola.it/application/files/9815/1681/4991/Presentazione_ricerca_Fieragricola-Nomisma__24-1-18.pdf)
- Gebbers R., Adamchuk V. (2019). Precision Agriculture and Food security. Science, 327 pp. 828-831.
- Casa R. (2016). Agricoltura di Precisione – Metodi e tecnologie per migliorare l'efficienza e la sostenibilità dei sistemi colturali. Edagricole. ISBN: 9788850655106.
- Rognoni G.L. (2019). A.d.P. e risicoltura: un binomio auspicabile;
- Gatto S. (2013). Tesi di Laurea: Applicazione delle tecnologie di Agricoltura di Precisione nella coltivazione del Mais in una azienda cerealicola-zootecnica. Università degli studi di Padova – Corso di laurea triennale in Scienze e Tecnologie Animali.

- Bertora C., Stellaci A. M., Grignani C. (2011). Dosare la fertilizzazione azotata impiegando gli indicatori colturali. Terra e Vita 4/2011, pp. 30-33.
- Langrie C., Agnew J.M., Landry H. (2006). Development of a precision applicator for solid and semi-solid manure. Applied Engineering in Agriculture, 22(3) pp. 345-35.

## CAPITOLO 4

### VALUTAZIONE DELLA SOSTENIBILITÀ ECONOMICA ED AMBIENTALE

#### COS'È LA SOSTENIBILITÀ?

In agricoltura una coltivazione agricola è sostenibile solo quando è in grado di fare un uso ragionato delle risorse naturali, non altera il sistema agricolo con sostanze inquinanti, garantisce prodotti agricoli sani, salutari e sufficientemente remunerativi per gli agricoltori.

Nel settore agricolo, come in tutte le attività economiche, la sostenibilità viene quindi suddivisa in tre pilastri:

- 1) *sostenibilità ambientale*, volta a preservare e proteggere l'ambiente naturale, nel tempo, attraverso pratiche e politiche adeguate, soddisfacendo i bisogni del presente pur non compromettendo la disponibilità di risorse per il futuro;
- 2) *sostenibilità sociale*, per garantire alti standard di benessere delle persone e delle comunità;
- 3) *sostenibilità economica*, per preservare e promuovere il benessere economico a lungo termine dei soggetti coinvolti.

L'obiettivo dell'agricoltura di precisione è rendere le coltivazioni agricole più sostenibili. Difatti le tecnologie di agricoltura di precisione promosse nel progetto AdP4Durum permettono di ottenere prodotti agricoli più sani con meno contaminanti e residui, aiutano a ottimizzare l'uso dei mezzi tecnici e, di conseguenza, promuovono strategie di coltivazione più competitive e meno impattanti economicamente e ambientalmente.

#### COSA MISURIAMO CON LA SOSTENIBILITÀ?

Nel settore agricolo, i tre pilastri della sostenibilità, sono tuttora obiettivi da raggiungere, sebbene molti traguardi siano già stati perseguiti. Nei decenni passati, la legislazione europea e nazionale ha focalizzato molto l'attenzione sulla sostenibilità sociale, con norme volte a garantire ai consumatori prodotti alimentari salubri e con livelli di contaminanti chimici sotto soglie di sicurezza.

Oggigiorno, in tema di sostenibilità ambientale, si aggiungono richieste per un maggiore impegno nel preservare la biodiversità e nel combattere il riscaldamento

globale. Su richiesta del consumatore, queste esigenze, sono sempre più stringenti e gli agricoltori, tramite l'agricoltura di precisione, stanno cercando di soddisfarle.

Oltre ad adottare pratiche colturali più sostenibili è necessario anche dotarsi di strumenti in grado di misurare i benefici derivanti dall'adozione di tali pratiche. In altre parole le pratiche innovative adottate in campo devono essere tracciate e i benefici ottenuti, individuati e quantificati, così da poter contraddistinguere le migliori.

Risulta quindi indispensabile trovare indicatori e indici in grado di evidenziare i benefici ottenuti dalle scelte tattiche e strategiche che l'agricoltore mette, e metterà in pratica in futuro, nei propri appezzamenti.

---

## COME MISURIAMO LA SOSTENIBILITÀ?

La valutazione della sostenibilità economica ed ambientale segue una metodologia che analizza tutte le fasi del processo produttivo di un prodotto, in questo caso agricolo, "dalla culla alla tomba", ovvero dall'estrazione delle materie prime necessarie al processo produttivo allo smaltimento del prodotto a fine vita.

Questa valutazione, quando di tipo ambientale, viene denominata "analisi del ciclo di vita" di un prodotto e in gergo si parla di LCA (Life Cycle Assessment). LCA è pertanto un procedimento oggettivo di valutazione dei carichi energetici e ambientali di processo e attività svolte, comprendendo estrazione e trattamento delle materie prime, fabbricazione, trasporto, distribuzione, uso, riciclo e smaltimento finale [Baldo G. L. et al. 2008].

Queste fasi oggetto di valutazione sono adatte all'unità funzionale, ovvero al prodotto da analizzare. Nel caso in cui l'unità funzionale sia una tonnellata di granella di frumento duro al 13% di umidità, una valutazione LCA comprenderà gli impatti generati per produrre i mezzi tecnici impiegati in campo (i.e. concimi, prodotti fitosanitari, semente, ecc.), l'impatto ammortizzato dell'uso dei mezzi agricoli, il consumo di gasolio utilizzato in ogni operazione colturale, gli impatti generati dalla coltivazione e dai mezzi tecnici applicati sugli appezzamenti, nonché l'impatto relativo alla raccolta e al trasporto della produzione fuori dai cancelli aziendali.

Qualora la valutazione LCA avesse come unità funzionale un chilogrammo di pasta cotta, la valutazione, oltre a comprendere i suddetti impatti della coltivazione, comprenderà anche gli impatti relativi a molitura, produzione della pasta, imballaggio, trasporto e cottura finale della pasta effettuata dal consumatore (Fig. 41).



**Figura 41 Esempio delle fasi del ciclo di vita della pasta**  
([www.barillacfn.com](http://www.barillacfn.com))

Lo stesso approccio è utilizzato anche in ambito economico. In questo caso invece di valutare i carichi energetici e ambientali si andranno a valutare i costi di ogni fase del processo produttivo. In ambito economico si parla quindi di LCC (Life Cycle Costing).

## VALUTARE LA SOSTENIBILITÀ AMBIENTALE - INDICI AMBIENTALI

L'agricoltura è definita ambientalmente sostenibile quando produce alimenti e altri prodotti agricoli rispettando l'ecosistema in cui sussiste, preservando le risorse del suolo e minimizzando/compensando le emissioni di gas clima-alteranti generati durante la coltivazione.

Valutare il livello di sostenibilità ambientale di un sistema colturale agricolo è molto complesso poiché sono molteplici gli ambiti in cui è necessario quantificarla.

Le procedure adottate seguono metodologie nate in ambito industriale e solo successivamente adattate al settore agricolo. L'adattamento negli anni non sempre è risultato facile e veloce poiché le ricadute delle attività antropiche sull'ecosistema sono molteplici.

Le principali categorie di indicatori utilizzati per effettuare valutazioni di sostenibilità ambientale ricadono in queste categorie:

	Emissioni gas serra		Efficienza energetica
	Biodiversità		Rischio Prodotti fitosanitari
	Ciclo dei nutrienti		Gestione rifiuti
	Qualità del suolo		Paesaggio
	Uso acqua		Servizi ecosistemici
	Gestione colturale		Effetti eco-tossicologici
	Qualità dell'aria		Stoccaggio carbonio nel suolo

## METODOLOGIE PER VALUTARE E CERTIFICARE IL LIVELLO DI SOSTENIBILITÀ DELL'AZIENDA AGRICOLA

Le valutazioni ambientali, fino a qualche anno fa, prevedevano la visita nelle aziende agricole di ingegneri ambientali e agronomi, i quali, tramite interviste, raccoglievano i dati necessari. Attualmente si sono creati degli applicativi, con accesso tramite internet, che permettono agli agricoltori, in modo autonomo, di registrare i dati necessari.

Anche il calcolo degli indicatori è stato digitalizzato cosicché, in modo automatico, grazie all'utilizzo di software, è possibile analizzare tantissimi dati di molti agricoltori in poco tempo.

Tra gli applicativi, metodologie o schemi di certificazione più utilizzati per raccogliere dati, per calcolare la sostenibilità e certificarla troviamo:

SAI Platform - CoolFarmTool	
VIVA – dedicato al settore vitivinicolo	<p>IL PROGRAMMA VIVA "La Sostenibilità nella Vitivinicoltura in Italia"</p> 
EPD® (Environmental Product Declaration)	
ISCC Plus System	
Made Green in Italy	
Sistema di Qualità Nazionale di Produzione Integrata (SQNPI)	
AgBalance – BASF	



Questi applicativi, metodologie e schemi di certificazione sono il risultato di iniziative pubbliche e private.

Nel progetto AdP4Durum è stato utilizzato l'applicativo Yousustain.net. Questo calcolatore include diversi indicatori ambientali successivamente descritti.

La commissione europea, nel 2013, ha tuttavia proposto uno standard per uniformare le metodologie e proporre un unico approccio di calcolo da applicare alle valutazioni ambientali di tutto ciò che è prodotto in Europa, sia a livello industriale che agro-alimentare [Raccomandazione UE 2021/2279].

PEF (Product Environmental Footprint) è il metodo promosso per i prodotti, mentre OEF (Organisation Environmental Footprint) per le organizzazioni.

La metodologia e gli indicatori ambientali da utilizzare sono descritti nella Raccomandazione (EU) 2021/2279 del 15 dicembre 2021. Anche questa metodologia segue l'approccio LCA e gli indicatori (chiamati Categorie di impatto EF) sono:

- *Cambiamenti climatici, totale (Potenziale di riscaldamento globale (GWPI100))* kg CO<sub>2</sub> eq./t di produzione.  
Contributo al riscaldamento globale, espresso in termini di emissioni di anidride carbonica equivalente, il principale gas ad effetto serra. Vengono conteggiati i contributi dovuti alle origini delle emissioni: fossile, biogenica, uso e trasformazione del suolo.
- *Riduzione dello strato di ozono (Potenziale di riduzione dell'ozono (ODP))* kg CFC-11 eq./t di produzione.  
Contributo alla riduzione dello strato di ozono stratosferico, espresso in termini di emissioni di clorofluorocarburi, gas in grado di danneggiare la fascia di ozono.
- *Tossicità per gli esseri umani effetti cancerogeni (Unità tossica comparativa per gli esseri umani (CTUh))* CTUh/t di produzione.  
Effetti tossici cancerogeni sulla salute dell'uomo, espressi tramite un indicatore comparativo per gli esseri umani.

- *Tossicità per gli esseri umani effetti non cancerogeni (Unità tossica comparativa per gli esseri umani (CTUh))* CTUh/t di produzione.  
Effetti tossici non cancerogeni sulla salute dell'uomo, espressi tramite un indicatore comparativo per gli esseri umani.
- *Particolato (Impatto sulla salute umana)*  
Incidenza sulle malattie.  
Contributo allo smog provocato dalle emissioni di sostanze inorganiche, espresso in termini di incidenza sulla mortalità.
- *Radiazione ionizzante, salute umana (Efficienza dell'esposizione umana all'U235)* kBq U235 eq./t di produzione.  
Radiazioni ionizzanti con effetti sulla salute umana, espresso come quantitativo di Uranio 235 nell'aria.
- *Formazione di ozono fotochimico, salute umana (Aumento della concentrazione di ozono troposferico)* kg NMVOC eq./t di produzione.  
Contributo alla formazione di ozono fotochimico, un inquinante della troposfera, espresso in termini di emissione di sostanze organiche.
- *Acidificazione (Superamento accumulato)* molc H<sup>+</sup> eq./t di produzione.  
Contributo all'acidificazione dell'aria e dell'acqua, espresso in termini di concentrazione degli ioni H<sup>+</sup>, che ha effetti sul pH degli oceani.
- *Eutrofizzazione, terrestre (Superamento accumulato)* molc N eq/t di produzione.  
Contributo all'eutrofizzazione terrestre, espresso come concentrazione di azoto nel suolo.
- *Eutrofizzazione, acque dolci (Frazione di nutrienti che raggiunge il comparto finale acque dolci (P))* kg P eq./t di produzione.  
Contributo all'eutrofizzazione delle acque dolci espresso come quantità di fosforo equivalente.
- *Eutrofizzazione, marina (Frazione di nutrienti che raggiunge il comparto finale acque marine (N))* kg N eq./t di produzione.  
Contributo all'eutrofizzazione marina, espresso come quantità di azoto equivalente.
- *Ecotossicità, acque dolci (Unità tossica comparativa per gli ecosistemi (CTUe))* CTUe/t di produzione.  
Tossicità per l'ambiente acquatico di acqua dolce, espressa tramite un indicatore comparativo per gli ecosistemi.
- *Uso del suolo (Indice di qualità del suolo).*  
Contributo al cambiamento di uso e trasformazione del suolo, espresso tramite punteggio, basato sulle funzioni del suolo.
- *Uso d'acqua Potenziale (mancanza d'acqua per l'utilizzatore, consumo di acqua ponderato in funzione della mancanza).*

m<sup>3</sup> di mancanza d'acqua/t di produzione.

Impoverimento delle risorse idriche, espresso come richiesta di volume d'acqua in relazione alla disponibilità del territorio.

- *Uso delle risorse minerali e metalli (Impoverimento delle risorse abiotiche)* kg Sb eq./t di produzione.
- *Uso delle risorse fossili (Impoverimento di risorse abiotiche combustibili fossili)* MJ/t di produzione.

Impoverimento delle risorse fossili, espresso come quantitativo equivalente di minerali estratti a scopo energetico, in mega joule.

---

## YOUSUSTAIN.NET

Yousustain.net è un calcolatore di Horta in grado di misurare la sostenibilità ambientale delle produzioni agricole. È basato su indicatori che riguardano la salute umana, l'aria, il suolo, la conservazione della biodiversità, il consumo energetico e l'uso dell'acqua [Ruggeri M. et al. 2022; Marchini M., Ruggeri M. 2023];

Specificatamente per la tematica relativa alle emissioni di gas serra, Yousustain.net calcola le emissioni di tutti i gas serra generati durante la coltivazione e il consumo di risorse non rinnovabili. La metodologia adotta l'approccio Life Cycle Assessment (LCA).

Indicatori di ingegneria ambientale, come carbon footprint (impronta carbonica), water footprint (impronta idrica), ecological footprint (impronta ecologica), livello di acidificazione ed eutrofizzazione delle acque, sono integrati con indicatori agronomici come ad esempio il sequestro del carbonio, il rischio di compattamento, il livello di erosione, l'indice di efficienza dell'uso dell'acqua, oltre a indicatori relativi alla biodiversità e al rischio tossicologico ed ecotossicologico generato dai prodotti fitosanitari impiegati in campo.

Gli indicatori sono 20 e sono racchiusi in 6 comparti.

Indicatori relativi a salute umana, biodiversità ed energia, come pure aria, suolo e acqua permettono di avere una valutazione a 360° del livello di sostenibilità delle produzioni agricole.

## I COMPARTIMENTI E GLI INDICATORI DI YOUSUSTAIN.NET



**Salute:** Human Tox Score + Dose Area Index + Treatment Frequency Index



**Aria:** Carbon footprint + Carbon sequestration



**Energia:** Fuel use + Renewable fuel + Waste



**Suolo:** Ecological footprint + Organic matter + Soil Coverage + Erosion + Soil compaction



**Biodiversità:** Biodiversity (approccio Unilever) + Eco Tox Score



**Acqua:** Water footprint + Water supply + Water Technical Use Efficiency + Acidification + Eutrophication

*Human Tox Score* valuta il rischio tossicologico (come "hazard", cioè pericolo intrinseco) sulla salute umana esercitato dalle sostanze chimiche di sintesi utilizzate in campo.

È valutato il profilo tossicologico di tutti i fungicidi, insetticidi, erbicidi, acaricidi registrati nel quaderno di campagna digitale.

In base alla classe tossicologica, alle frasi di pericolo e alla dose di applicazione per ettaro, l'indicatore calcola un rischio tossicologico per i prodotti fitosanitari utilizzati in campo.

*Dose Area Index* valuta l'esposizione chimica causata da ogni trattamento fitosanitario effettuato in campo. La valutazione è effettuata mediante una comparazione della dose utilizzata in campo rispetto a quella massima consentita

dall'etichetta ministeriale e/o una comparazione della superficie trattata rispetto a quella totale.

L'indicatore *Treatment Frequency index* valuta il numero di volte che una porzione di terreno è trattato con un prodotto fitosanitario. Sono sommati tutti i trattamenti eseguiti durante la stagione colturale.

*Carbon footprint* quantifica le emissioni di gas ad effetto serra prodotti direttamente o indirettamente dalle attività umane [IPCC 2006, 2019; Zampori L. e Pant R., 2019].

Può essere espresso in diverse unità di misura, a seconda che ci si riferisca ad una quantità o ad una superficie: ton. di CO<sub>2</sub> equivalente per ton. di prodotto oppure ton. di CO<sub>2</sub> equivalente per ettaro.

L'indicatore considera tutti i gas serra in grado di alterare gli equilibri climatici. Quest'ultimi sono elencati nel protocollo di Kyoto e in agricoltura i principali sono: anidride carbonica (CO<sub>2</sub>), metano (CH<sub>4</sub>), ossido nitroso (N<sub>2</sub>O).

Ogni gas serra possiede un fattore di conversione per ricondurre tutte le diverse tipologie di emissioni nella tipologia anidride carbonica (CO<sub>2</sub>-eq.). I fattori di conversione sono stati definiti dall'IPCC (International Panel on Climate Change) e permettono di ottenere un valore di emissione di CO<sub>2</sub>-eq. complessivo e quindi una valutazione del riscaldamento globale potenziale totale (Global Warming Potential).

Ad esempio, una molecola di metano ha un effetto serra pari a 30 molecole di CO<sub>2</sub>, se gli effetti sono riferiti ad un periodo di tempo di 100 anni, mentre una molecola di protossido di azoto (N<sub>2</sub>O), derivante dai processi di nitrificazione e denitrificazione dell'azoto distribuito in campo, ha un effetto sul riscaldamento globale pari a 273 molecole di CO<sub>2</sub>.

Queste considerazioni dimostrano come le emissioni della coltivazione, diversamente da quanto si possa pensare, non sono legate principalmente al gasolio, bensì alle emissioni di N<sub>2</sub>O generate dall'applicazione di concimi azotati.

L'indicatore *carbon sequestration* stima tutto il carbonio sequestrato e stoccato nei tessuti vegetali (parti aeree e sotterranee) durante la stagione colturale. Il processo fotosintetico trasferisce molecole di carbonio dalla forma gassosa (anidride carbonica) alla forma organica.

La cattura della CO<sub>2</sub> effettuata dalla pianta va a controbilanciare, almeno in parte, la quota liberata dalle pratiche colturali adottate.

Recentemente tale indice è stato affiancato da un modello in grado di prevedere il sequestro del carbonio nel suolo in funzione delle pratiche agricole adottate. Stoccaggio di carbonio nel suolo generato da pratiche rigenerative virtuose come l'uso di colture di copertura, l'interramento dei residui colturali, l'inerbimento nei frutteti e vigneti e l'uso di ammendanti.

L'indicatore *Fuel use* stima i litri di carburante consumati dalle operazioni colturali registrate nel quaderno di campagna digitale.

L'indicatore *Renewable fuel* fornisce un giudizio della propensione aziendale al consumo di carburanti prodotti da fonti rinnovabili.

*Waste* fornisce un giudizio sulla gestione dei rifiuti aziendali.

La valutazione comprende rifiuti collegati alla gestione dei prodotti fitosanitari ai lavaggi delle attrezzature, come pure alla gestione dei materiali di scarto.

L'indicatore *Ecological footprint* valuta la superficie terrestre e acquatica biologicamente produttiva necessaria per fornire risorse ed assorbire le emissioni per la produzione di un determinato bene o servizio.

Utilizzando questo indicatore di impronta ecologica, è possibile stimare quanta superficie servirebbe per rigenerare le risorse utilizzate durante la coltivazione.

L'indicatore *Organic matter* valuta il contenuto percentuale di sostanza organica presente nel suolo.

L'indicatore *Soil Coverage* descrive il numero di giorni all'anno in cui il terreno è coperto da vegetazione o da residui colturali. Maggiore è il numero di giorni in cui il terreno è coperto da materiale organico, maggiore sarà la qualità del suolo. Un terreno coperto da residui colturali, colture di copertura, pacciamature vegetali, ecc. avrà più sostanza organica, sarà meno soggetto al rischio di erosione e alla perdita di azoto per lisciviazione e volatilizzazione.

Attraverso l'indicatore *Erosion* è possibile stimare le tonnellate di terreno perso all'ettaro per anno a causa dei fenomeni erosivi dovuti alle precipitazioni.

Mediante la metodologia implementata da Wischmeyer e Smith (1978) e riassunta nell'equazione USLE (Universal Soil Loss Equation) è stato impostato un metodo di calcolo che considera:

- le precipitazioni in mm/mese;
- la tessitura del terreno e il suo contenuto di sostanza organica;
- la pendenza e lunghezza degli appezzamenti

- la gestione del suolo (a esempio l'inerbimento);
- la sistemazione idraulica adottata;
- le lavorazioni del terreno.

L'indicatore *Soil compaction* valuta il rischio di compattamento del suolo. L'eccessivo compattamento del suolo comporta ristagni idrici e uno stentato sviluppo culturale a causa della scarsa aerazione del terreno (asfissia radicale da compattamento).

L'indicatore *Biodiversity (approccio Unilever)* valuta il livello di biodiversità aziendale mediante una valutazione dell'uso del suolo [Smith G. et al., 2001].

In funzione delle diverse tipologie di utilizzo del suolo è possibile stimare in modo indiretto il livello di biodiversità presente nell'intera azienda agricola. Il giudizio di biodiversità considera le infrastrutture, le colture erbacee, le colture arboree, i margini degli appezzamenti, le aree ecologiche, le aree incolte, i prati, i pascoli e la rete idrica eventualmente presenti in azienda.

L'indicatore *Eco Tox Score* valuta il rischio eco-tossicologico (come "hazard", cioè pericolo) sulla salute dell'ecosistema acquatico e terrestre esercitato dalle sostanze chimiche di sintesi utilizzate in campo. È valutato il profilo tossicologico di tutti i fungicidi, insetticidi, erbicidi, acaricidi registrati nel quaderno di campagna digitale.

In base alla classe tossicologica, alle frasi di pericolo e alla dose di applicazione per ettaro, l'indicatore calcola un rischio eco-tossicologico per i prodotti fitosanitari utilizzati in campo.

L'indicatore *Water footprint* misura l'impronta idrica del sistema colturale e quindi il consumo idrico del processo produttivo. Viene espresso in termini di volume di acqua utilizzata, evapotraspirata ed inquinata durante il processo produttivo.

L'indicatore è espresso in m<sup>3</sup> di acqua consumati per tonnellata e m<sup>3</sup> di acqua per ettaro.

Water footprint è stato recentemente affiancato dall'indice PEF *Uso d'acqua Potenziale* per valutare il consumo di acqua in relazione alla disponibilità del territorio.

L'indicatore *Water supply* valuta la sostenibilità della tipologia di acqua di irrigazione utilizzata in campo. Fonti di acqua di irrigazione che favoriscono l'utilizzo di acque reflue, piovane o desalinizzate sono considerate più sostenibili rispetto ad acque derivanti da bacini idrici superficiali o da falde.

L'indicatore *Water Use Technical Efficiency* valuta la sostenibilità del metodo di irrigazione utilizzato in campo. Metodi che limitano l'utilizzo di acqua e gli sprechi, come l'irrigazione localizzata e l'aspersione con grandi ali piovane, assumono un giudizio di maggiore sostenibilità rispetto a metodologie come la sommersione e lo scorrimento, che hanno un basso livello di efficienza.

*Acidification* quantifica le emissioni in aria di gas acidi con potere acidificante, quali ossidi di azoto (NO<sub>x</sub>), ossidi di zolfo (SO<sub>x</sub>) e NH<sub>3</sub> da parte delle attività produttive (come ad esempio la combustione dei prodotti petroliferi e l'utilizzo di concimi).

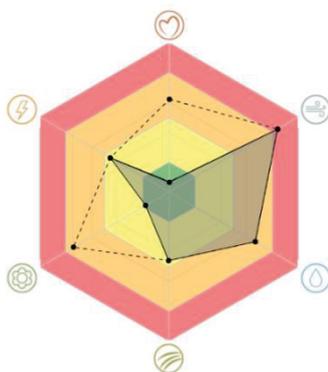
Queste sostanze, combinandosi con il vapore acqueo nell'atmosfera, producono precipitazioni acide che alterano gli ecosistemi acquatici e dilavano i nutrienti dal suolo. L'indicatore considera tutte le potenziali sostanze responsabili dell'acidificazione dell'acqua e del suolo.

*Eutrophication* quantifica l'effetto sull'ecosistema acquatico dell'apporto artificiale di nutrienti fosfatici e azotati al suolo. Questi nutrienti sono forniti attraverso i fertilizzanti durante la coltivazione.

Apporti eccessivi rispetto alle reali necessità della coltura e/o andamenti stagionali particolarmente piovosi possono comportare una sovrabbondanza di nitrati e fosfati negli ambienti acquatici circostanti le aree coltivate con conseguenti effetti tossici sugli organismi acquatici.

L'indicatore considera tutte le potenziali sostanze responsabili dell'eutrofizzazione dell'acqua dolce e marina.

Ogni indicatore di *yousustain.net* viene parametrizzato e convertito in uno score tra 0 (alto livello di sostenibilità) e 5 (basso livello di sostenibilità) e il risultato principale è un esagono in cui i vertici corrispondono ai 6 comparti ambientali analizzati (Fig.42).



**Figura 42 Esempio di schema di visione finale dei risultati restituito da yousustain.net**

Oltre ai 20 indicatori descritti, Yousustain.net è anche in grado di calcolare gli indicatori PEF, secondo le indicazioni prescritte dalla specifica raccomandazione.

## RISCHIO = PERICOLO X ESPOSIZIONE

Durante l'applicazione dei prodotti fitosanitari in campo possono essere utilizzate pratiche volte a ridurre l'impatto ambientale dell'intervento. Relativamente a ciò, yousustain.net calcola aggiuntivi *indicatori di mitigazione* in grado di influire sugli indicatori del comparto salute e biodiversità precedentemente descritti.

Tali indicatori valutano con che frequenza sono stati utilizzati i DPI (Dispositivi di Protezione Individuale) e come è avvenuto lo stoccaggio, la manipolazione, la distribuzione dei prodotti fitosanitari, senza trascurare come è avvenuto lo smaltimento dei residui degli stessi, al fine di verificare quanto dell'impatto ambientale sulla salute umana e sulla biodiversità può essere attenuato da una corretta gestione del mezzo tecnico. In altre parole si valuta quanto delle norme, prescrizioni e consigli indicati dalla direttiva 2009/128/CE sull'uso sostenibile dei prodotti fitosanitari, sono stati adottati.

L'utilizzo di questi indicatori permette quindi di passare da una valutazione del *pericolo* a una stima dell'*esposizione* dell'essere umano e dell'ecosistema agli effetti negativi dei prodotti fitosanitari, in modo da avere una complessiva valutazione del *rischio*.

## PERCHÉ MISURARE LA SOSTENIBILITÀ DELLE PRODUZIONI AGRICOLE?

Valutare le performance ambientali delle produzioni agricole ha molti vantaggi e ricadute per la filiera agroalimentare poiché è in grado di aumentarne la competitività sul mercato internazionale. Prodotti agricoli con la sostenibilità ambientale misurata:

- 1) formano l'agricoltore rendendolo più consapevole su cosa fare per aumentare la sostenibilità nelle scelte quotidiane;
- 2) dimostrano al consumatore e all'opinione pubblica la sensibilità della filiera verso le tematiche ambientali, il paesaggio e la salute umana;
- 3) favoriscono le esportazioni, specialmente nei paesi più sensibili ed esigenti alle tematiche relative al rispetto dell'ambiente.

---

## CERTIFICARE CIÒ CHE SI È MISURATO

I dati ottenuti dalla misurazione della sostenibilità, per essere comunicati e/o essere utilizzati a fini commerciali, devono essere certificati da un ente di certificazione terzo riconosciuto e abilitato a valutare le prestazioni ambientali calcolate. Spesso, in termini ambientali, sono certificate le emissioni di gas serra e recentemente, grazie al carbon farming, anche gli stoccaggi di carbonio nel suolo sottoforma di sostanza organica stabile e durevole.

Le valutazioni ambientali normalmente rispettano, dal punto di vista metodologico, le norme ISO del gruppo 14000, come l'ISO14040 e 14044 riguardanti la valutazione del ciclo di vita dei prodotti.

Avere norme di riferimento risulta molto utile poiché consente di confrontare studi effettuati da soggetti diversi, poiché tutti seguono la stessa metodologia.

Numerosi sono gli enti di certificazione italiani o esteri, operanti in Italia, che possono certificare performance ambientali nel settore agricolo e agroalimentare. I principali sono: Bureau Veritas Italia S.p.A., Certiquality S.r.l., CSQA Certificazioni S.r.l., DNV GL Business Assurance Italia S.r.l., RINA Services S.p.A, SGS Italia S.p.A. e CCPB S.r.l..

## VALUTARE LA SOSTENIBILITÀ ECONOMICA - INDICI ECONOMICI

L'impresa agricola, come le altre imprese commerciali, deve periodicamente redigere un documento contabile composto da un elenco di elementi positivi (ricavi) e negativi (costi) conseguenti alla gestione delle proprie attività agricole, per verificare se l'attività economica adottata ha generato un reddito o una perdita.

Lo stesso approccio viene utilizzato quando un sistema colturale sostenibile viene confrontato con uno convenzionale/tradizionale.

All'interno del progetto AdP4Durum, sistemi colturali in cui si sono adottate pratiche colturali innovative (come l'uso di Sistemi di Supporto alle decisioni, applicazioni di precisione a rateo variabile, ecc.) sono stati confrontati con strategie colturali convenzionali e tipiche del territorio pugliese.

Essendo un'analisi economica si è proceduto con un'attenta e completa rendicontazione di tutti i costi sostenuti, compresi i costi aggiuntivi che le nuove tecnologie adottate richiedono. Questa rendicontazione è stata svolta anche per la gestione tradizionale.

Analogamente sono stati recuperati tutti i ricavi derivanti dalla produzione agricola raccolta, con eventuali correzioni dei prezzi (premierità o penalità) in funzione del livello di qualità raggiunta. La valutazione dei ricavi non ha trascurato il reddito derivante anche da produzioni secondarie, come la paglia nel caso della coltivazione del frumento.

La valutazione economica nel progetto AdP4Durum ha seguito la suddetta procedura LCC e si sono contabilizzati i costi legati all'acquisto dei mezzi produttivi, al consumo di acqua, al consumo di energia, al costo di manutenzione, riparazione e sostituzione dei mezzi agricoli e al costo di smaltimento degli eventuali rifiuti generati.

I costi di smaltimento derivanti dall'impiego dei mezzi tecnici, come ad esempio quelli per contenitori e imballaggi, vengono calcolati a partire dai quantitativi dei rifiuti prodotti.

I quantitativi di mezzi tecnici impiegati sono stati ricavati dai quaderni di campagna digitali compilati dagli utenti tramite i DSS grano.net<sup>®</sup> e granoduro.net<sup>®</sup>.

Ad ogni mezzo tecnico impiegato è stato definito un costo medio unitario in funzione dell'annata di valutazione e del territorio in cui sussistono le aziende

oggetto di studio. Per le operazioni colturali sono stati attribuiti costi diversi in funzione di chi ha eseguito l'attività (proprietario o contoterzista).

Numerosi sono gli indici e gli indicatori economici che possono essere utilizzati per valutare la convenienza o meno ad adottare pratiche di agricolture di precisione volte a migliorare la sostenibilità economica delle aziende agricole.

Si riportano di seguito un elenco dei principali indicatori economici utilizzati per il conto economico di un appezzamento coltivato a frumento duro:

- PLV granella di frumento e eventualmente paglia (€/ha)
- Costi operazioni colturali (aratura, semina, erpicatura, raccolta ecc.) (€/ha)
- Costi mezzi tecnici (semente, concimi, prodotti fitosanitari ecc.) (€/ha)
- Costi diretti totali (€/ha): Costi operazioni colturali (€/ha) + Costi mezzi tecnici (€/ha)
- Reddito Lordo (PLV – costi diretti). Sono esclusi contributi, costi generali e imposte. (€/ha)
- Costi operazioni colturali/Costi diretti totali (%)
- Costi diretti totali/Indice di prezzo (%)
- Costi operazioni colturali/PLV (%)
- Reddito Lordo/PLV (%)

PLV – Produzione Lorda Vendibile

---

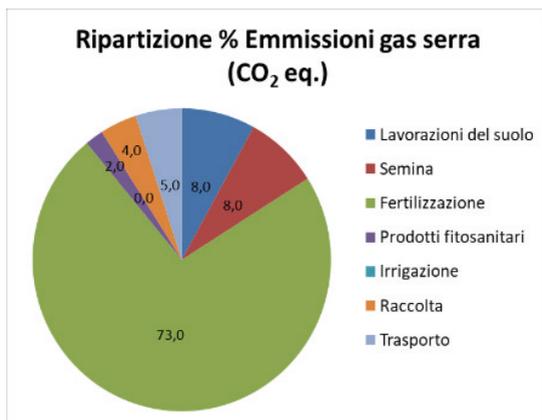
## L'EFFICIENZA DELL'AZOTO E L'IMPATTO SULLE EMISSIONI

Come visibile in figura 43, studi effettuati durante l'esecuzione del progetto hanno dimostrato come, nella coltivazione del frumento duro, i costi colturali diretti siano approssimativamente equamente distribuiti tra lavorazioni del suolo, semina, fertilizzazione, trattamenti fitosanitari, raccolta e trasporto, e questo nonostante negli ultimi anni, a causa del caro-energia, risultino leggermente più preponderanti per la quota relativa alla fertilizzazione.



**Figura 43 Ripartizione dei costi diretti tra le diverse tipologie di mezzi tecnici impiegati. Dati riferiti alla coltivazione del frumento duro.**

Come visibile invece in figura 44, se effettuiamo lo stesso studio anche per gli impatti ambientali, e più specificatamente sulle emissioni di CO<sub>2</sub> eq., notiamo che la ripartizione è fortemente sbilanciata verso la fertilizzazione.



**Figura 44 Ripartizione delle emissioni di gas serra tra le diverse tipologie di mezzi tecnici impiegati. Dati riferiti alla coltivazione del frumento duro.**

Questo accade perché le concimazioni azotate generano perdite di azoto sottoforma di protossido di azoto  $N_2O$  e  $N_2$ . L' $N_2O$  è un potentissimo gas ad effetto serra e il suo effetto è pari a 273 molecole di  $CO_2$ . Questo significa che la perdita di una molecola di azoto sottoforma di  $N_2O$  genera un effetto serra pari a 273 molecole di  $CO_2$ .

L'azoto può essere perso per lisciviazione e/o per volatilizzazione. Perdite consistenti, oltre che avere un effetto negativo sulla sostenibilità economica, causano un forte aumento delle emissioni generate dalla coltivazione.

Ottimizzare la concimazione è quindi la strategia migliore per ottenere un calo significativo delle emissioni generate dalla coltivazione delle colture agrarie (Fig.45).

Applicare l'azoto troppo in anticipo, o in ritardo, rispetto alle esigenze della pianta lo sottopone a fenomeni di lisciviazione, se piove molto, o di volatilizzazione, se l'andamento climatico è siccitoso, generando quindi delle perdite di questo elemento.

Durante annate piovose la coltura ha un elevato sviluppo vegetativo e necessita normalmente di consistenti apporti azotati, che però devono essere frazionati e apportati in dosi ridotte per evitare che parte sfugga all'assorbimento radicale, con il rischio, quindi, che venga lisciviato.

Viceversa, in stagioni colturali siccitose, è necessario ridurre gli apporti azotati poiché il vigore sarà modesto e le radici non saranno in grado di assorbire l'azoto somministrato. Questo evita che l'azoto rimanga a lungo disponibile nel terreno, con rischi di volatilizzazione.



**Figura 45 Strategie per ottimizzare la concimazione azotata**

L'uso di Sistemi di Supporto alle Decisioni come grano.net® e granoduro.net® permettono di quantificare in modo accurato le esigenze nutrizionali e consentono di individuare le migliori tempistiche di applicazioni.

L'uso di attrezzature che consentono l'applicazione dell'azoto a rateo variabile, consente di apportare le giuste quantità in funzione delle caratteristiche del suolo e della potenzialità produttiva della coltura nelle varie aree omogenee dell'appezzamento.

Queste e altre tecnologie di agricoltura di precisione mirano quindi a non sprecare azoto e a ottimizzare le applicazioni per evitare che parte del concime venga sprecato, con effetti negativi sia economici che ambientali.

## CONFRONTO TRA GESTIONE SITO-SPECIFICA E TRADIZIONALE NEL PROGETTO ADP4DURUM

Nelle stagioni colturali 2021/2022 e 2022/2023, in tre aziende agricole partecipanti al progetto, si sono condotti confronti tra una gestione colturale tradizionale e una gestione innovativa in cui si sono adottate tutte le tecnologie di agricoltura 4.0 promosse dal progetto.

Per ogni appezzamento coltivato a frumento duro si sono raccolti i dati agronomici necessari per effettuare il calcolo degli indicatori ambientali calcolati da yousustain.net.

Nelle tabelle successive sono illustrati i principali risultati ambientali ed economici ottenuti nel progetto per le due stagioni colturali.

### Stagione colturale 2021/2022

Parametro	Gestione tradizionale	Gestione ADP4DURUM	% riduzione con ADP4DURUM
Carbon footprint per tonnellata ton CO <sub>2</sub> eq./ton di granella	0,76	0,60	-21%
Carbon footprint per ettaro ton CO <sub>2</sub> eq./ettaro	2,06	1,59	-23%
Azoto per ettaro Kg di N/ettaro	140	93	-34%

Parametro	Gestione tradizionale	Gestione ADP4DURUM	% con ADP4DURUM
Costi totali €/ettaro	943	770	-18,3%
PLV €/ettaro	1.558	1.620	+4%
Utile netto €/ettaro	615	850	+38%

*Stagione colturale 2022/2023*

Parametro	Gestione tradizionale	Gestione ADP4DURUM	% riduzione con ADP4DURUM
Carbon footprint per tonnellata ton CO <sub>2</sub> eq/ton di granella	0,37	0,24	-35,1%
Carbon footprint per ettaro ton CO <sub>2</sub> eq/ettaro	2,03	1,38	-32 %
Azoto per ettaro Kg di N/ettaro	137	77	-43,8%

Parametro	Gestione tradizionale	Gestione ADP4DURUM	% con ADP4DURUM
Costi totali €/ettaro	1.010	883	-12,6%
PLV €/ettaro	2.109	2.186	+3,7%
Utile netto €/ettaro	1.099	1.303	+18,6%

Nella gestione AdP4Durum sono conteggiati nei costi colturali le maggiori spese legate all'adozione di tecnologie 4.0. Il costo di un contoterzista dotato della strumentazione necessaria per effettuare semine e concimazioni a rateo variabile e/o la mappatura di resa è indubbiamente più alto rispetto al costo per il servizio che può fornire un contoterzista senza tali strumentazioni.

Nonostante ciò il costo colturale medio della gestione AdP4Durum è risultato inferiore del 18,3% nel 2022 e del 12,6% nel 2023 rispetto alla tecnica tradizionale, poiché i maggiori costi per l'adozione della tecnologia a rateo variabile e per la mappatura delle rese, sono stati largamente bilanciati, grazie ai consigli agronomici di grano.net® e granoduro.net®, da una riduzione dei costi relativi alla semente, al concime, ai prodotti fitosanitari e al consumo di gasolio.

## BIBLIOGRAFIA

- Baldo G. L., Marino M., Rossi S. (2008). Analisi del Ciclo di Vita LCA. Gli Strumenti per la progettazione di materiali, prodotti e processi. Edizione Ambiente.
- IPCC (2006). Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories
- IPCC (2019). Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories
- Marchini M., Ruggeri M., (2023). Sistemi digitali per l'agricoltura di precisione. Pasta&Pastai, 196, pp 8-14.
- RACCOMANDAZIONE (UE) 2021/2279 DELLA COMMISSIONE del 15 dicembre 2021 sull'uso dei metodi dell'impronta ambientale per misurare e comunicare le prestazioni ambientali del ciclo di vita dei prodotti e delle organizzazioni.
- Ruggeri M., Meriggi P., Rossi V. (2022). DSS (Decision Support System) per una coltivazione sostenibile e di precisione del frumento. Atti del 12° Convegno AISTEC Cereali e Scienza: resilienza, sostenibilità e innovazione. Giugno 20 22 Portici (NA).
- Smith G., McMasters J., Pendlington D. (2001). Agri-biodiversity indicators: a view from Unilever sustainable agriculture initiative. Submission from Unilever/BIAC to the OECD. Ecosysem/habitats Impacted by Agricultural Activities. Zürich, Switzerland.
- Wischmeier W.H., Smith D.D. (1978). Predicting soil erosion losses: A guide to conservation planning. USDA Agriculture Handbook 537.
- Zampori L., Pant R, (2019). Suggestions for updating the Product Environmental Footprint (PEF) method. Luxembourg, Publications Office of the European Union. JRC115959 / EUR 29682 EN. DOI: 10.2760/424613.































