

L'utilizzo innovativo della spettroscopia MIR per la gestione della sostenibilità dell'allevamento

Alessio Cecchinato

Dipartimento di Agronomia, Animali, Alimenti, Risorse naturali e
Ambiente – DAFNAE
Università di Padova



Agenda



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI PADOVA

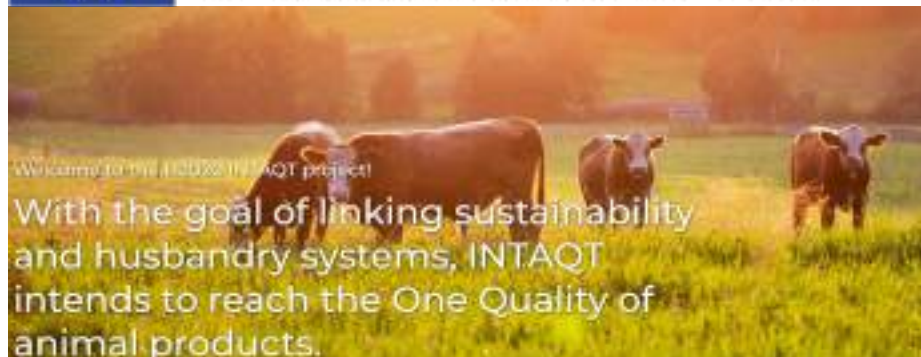


- Per iniziare: sostenibilità, infrarosso, benessere, qualità: quale legame?
- La sperimentazione
- Dalla stalla alla popolazione: quando la ricerca diventa innovazione di sistema
- Cosa abbiamo imparato e dove stiamo andando: conclusioni e prospettive

Il progetto



THIS PROJECT HAS RECEIVED FUNDING FROM THE EUROPEAN UNION'S HORIZON 2020 RESEARCH AND INNOVATION PROGRAMME UNDER GRANT AGREEMENT N° 101000250



Progettare il futuro: la ricerca per la produzione primaria del Parmigiano Reggiano Cremona - sabato 29 novembre 2025



Sostenibilità, infrarosso, benessere, qualità: quale legame?



Sostenibilità



With the goal of linking sustainability and husbandry systems, INTAI intends to make the One Quality in Farmhouse.

Cosa cerchiamo



1) Adattamento e resilienza



2) Emissioni di metano



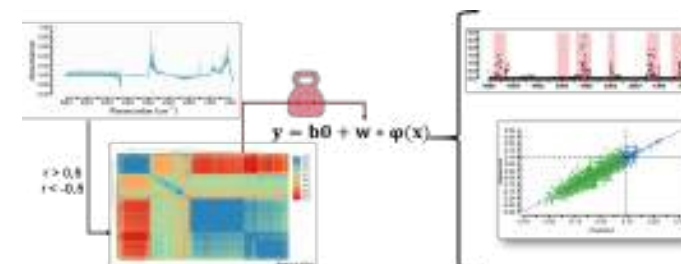
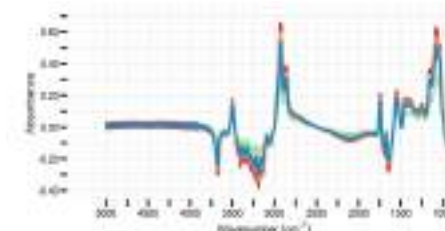
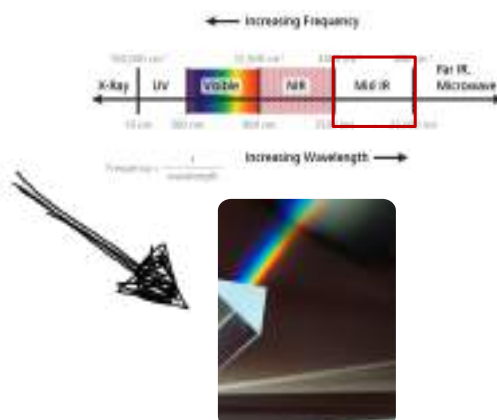
3) Qualità



Quale strumento?

Sostenibilità, infrarosso, benessere, qualità: quale legame?

Spettri



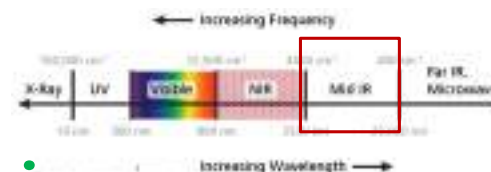
Sostenibilità, infrarosso, benessere, qualità: quale legame?



Raccolta campioni di latte tramite controlli funzionali



Analisi IR latte (ARA)

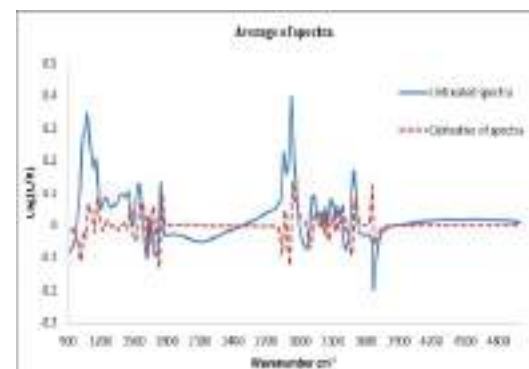


È possibile la predizione di nuovi caratteri a partire dagli spettri MIR?

SCHEDA DI RIEPILOGO DEL CONTROLLO BOVINI DA LATTE

ASSOCIAZIONE ITALIANA ALLEVATORI
Ente morale - D.P.R. N. 1051 del 27-10-1950
Ente Terzo Delegato ai sensi del D.Lgs. 52/2018

GIORNI	LATTE		GRASSO		PROTEINE	
	KG	%	KG	%	KG	%
308	15576	5,14	800	3,10	498	
116	6335	4,36	276	3,05	193	
347	12344	4,71	582	3,43	424	
56	1569	4,07	78	3,44	54	
250	13276	4,33	575	3,00	398	
226	10236	4,97	509	3,13	320	



Spettri "grezzi" MIR



PARMIGIANO REGGIANO



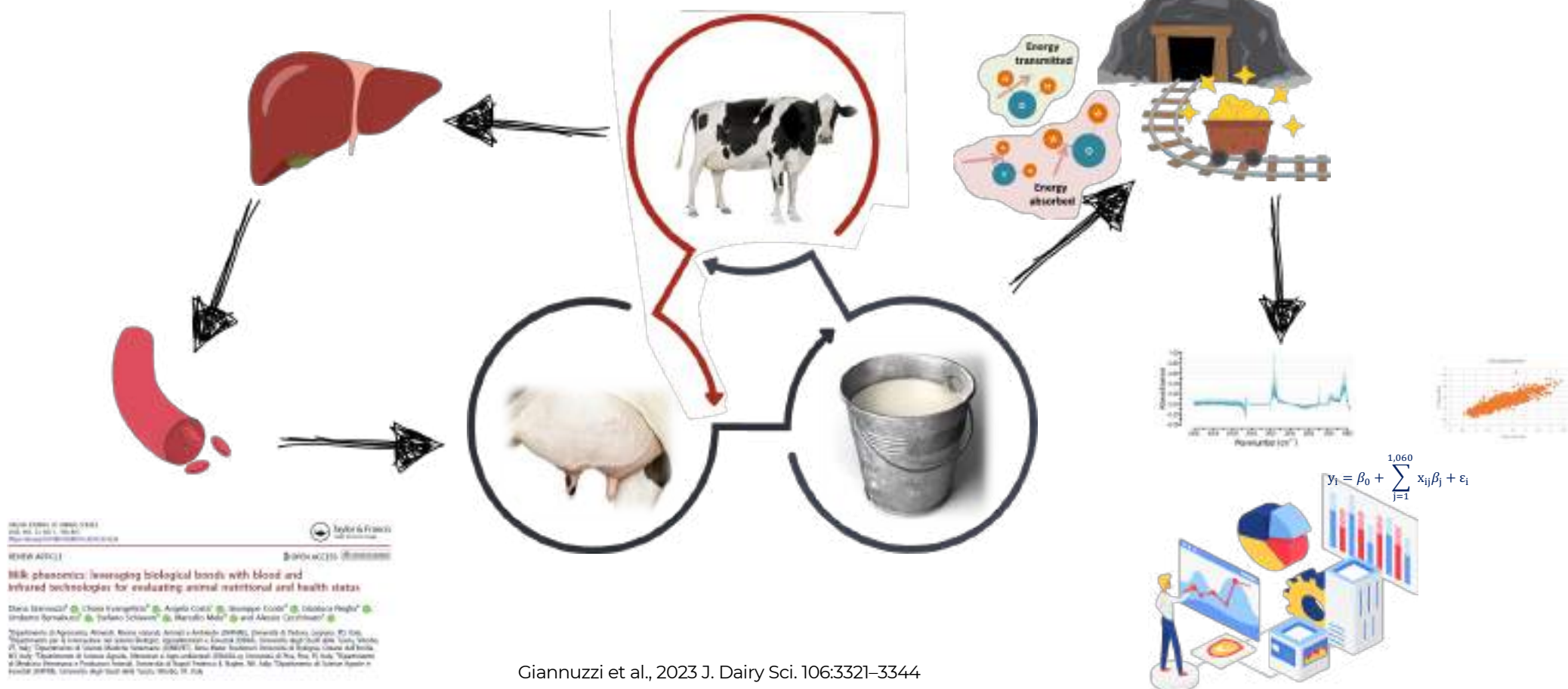
Progettare il futuro: la ricerca per la produzione primaria del Parmigiano Reggiano Cremona - sabato 29 novembre 2025

Sostenibilità, infrarosso, benessere, qualità: quale legame?



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI PARMA

AFNAE
Department of Agricultural Food Science
Nutrition, Dietetics and Food Science



Progettare il futuro: la ricerca per la produzione primaria del Parmigiano Reggiano Cremona - sabato 29 novembre 2025



La ricerca

Holstein-Friesian (n = ~1,400)

5 allevamenti

Regioni

Veneto
Emilia Romagna

2,700 records:

- 33 allevamenti
- Multirazza
- 3 regioni

(Veneto, Emilia Romagna, Trentino Alto Adige)

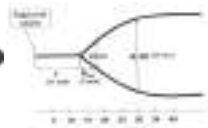
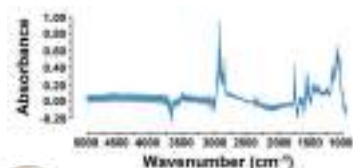


Campioni di sangue
(reference)
Profilo metabolico
(29 metabolites)

Hematocrit

- 1. Energy-related metabolites** (NEFA, BHB, glucose, cholesterol, urea, creatinine)
- 2. Inflammation/innate immunity** (Total proteins, globulins, ceruloplasmin, haptoglobin, myeloperoxidase)
- 3. Hepatic function/damage** (AST, ALP, GGT, albumin, paraoxonase, total bilirubin)
- 4. Oxidative stress metabolites** (Total ROM, FRAP, AOPP, Thiol groups)
- 5. Minerals** (Ca, P, Zn, Na, Mg, K, Cl)

Animali genotipizzati GGP
Bovine 100K SNP Chip assay



Giannuzzi et al., 2023 J. Dairy Sci. 106:3321-3344

Mota et al., 2023 Genet Sel Evol. 55:23

Capacità predittiva

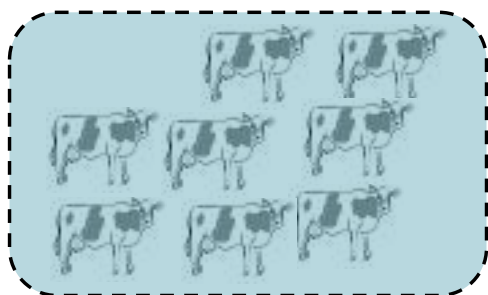
Precisione = la precisione per Q25 e Q75 è stata calcolata come la proporzione di previsioni corrette di una classe sul totale delle previsioni effettuate per quella classe.

Quartili estremi - validazione incrociata (5-fold)

1st gruppo = Q25; 2nd gruppo = Q25-75; 3rd gruppo = Q75

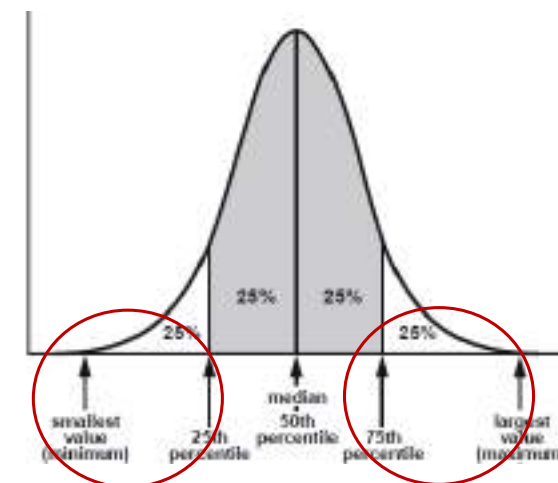
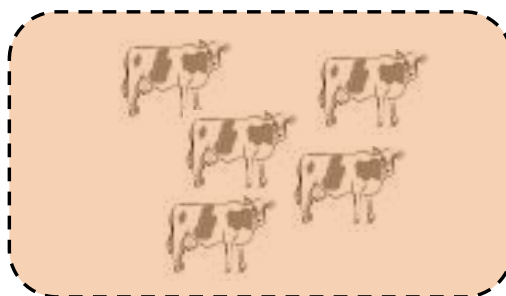
Training

80% cows of group 1, 2 and 3



Validazione

20% cows of group 1, 2 and 3



Su scala continua R^2 variabili da 0.45 a 0.84

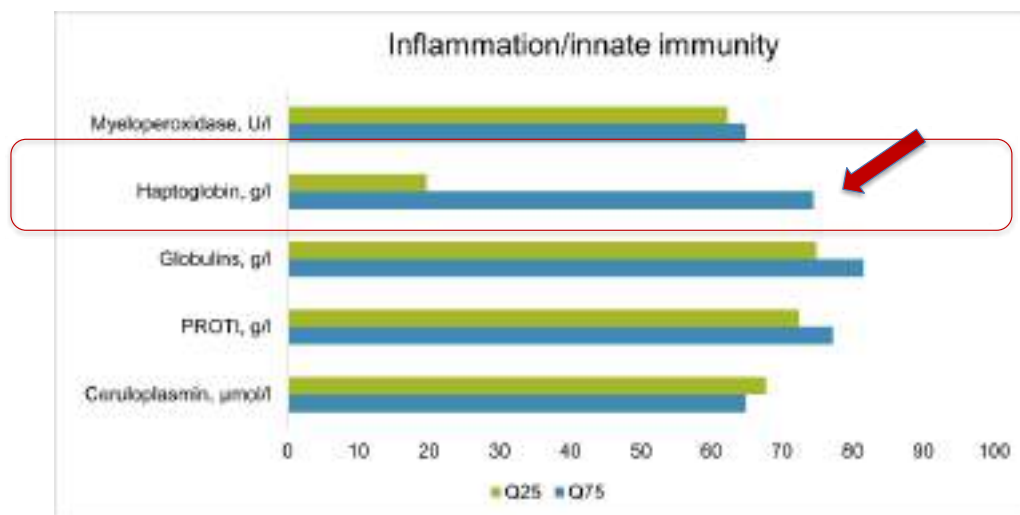
J. Dairy Sci. 100:3331–3346
https://doi.org/10.3182/jds.2022.105.4545
© 2023 The Authors. Published by Elsevier Inc. and Fao for on behalf of the American Dairy Science Association.
This is an open access article under the CC BY license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

Prediction of detailed blood metabolic profile using milk infrared spectra and machine learning methods in dairy cattle

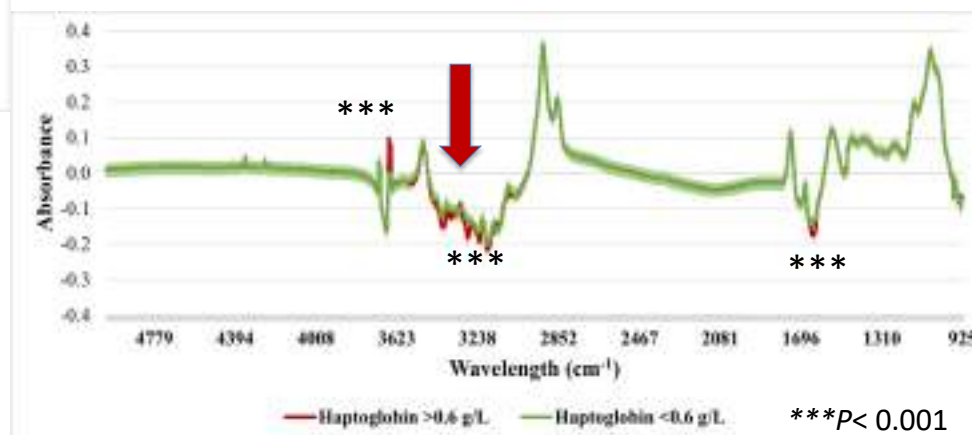
Stefano Bazzani,^{1,*} Lucio Flavio Macedo Mata,² Sara Pegolo,¹ Franco Tagliapietra,¹ Stefano Bazzani,¹ Luigi Gallo,¹ Maria Agnese Mariani,¹ Barbara Traverso,¹ and Alessia Cecchiato¹
¹Department of Agricultural Food and Environmental Sciences, University of Padua, 35122 Legnaro (PD), Italy
²Department of Food Science, Food and Nutrition (DIN), and the Food and Nutrition Research Center for Sustainable Food Production (DIN), Faculty of Agricultural Food and Environmental Sciences, University of the Basilicata, 40100, Potenza, Italy
*Corresponding author: stefano.bazzani@unipd.it



Cosa ci può raccontare lo spettro?



cows with low and high levels of serum haptoglobin (Figure 6). These wavelengths are $\sim 3,600 \text{ cm}^{-1}$ and are related to amines and amide A, and derive mainly from N-H or hydroxyl (O-H) stretching/bending vibrations (Ji et al., 2020). Differences in absorbance in protein amide bands indicate conformational changes to protein, which is a known phenomenon for haptoglobin in inflammatory conditions in humans (e.g., haptoglobin glycosylation; Motooka et al., 2021).



Giannuzzi et al., 2023 J. Dairy Sci. 106:3321–3344



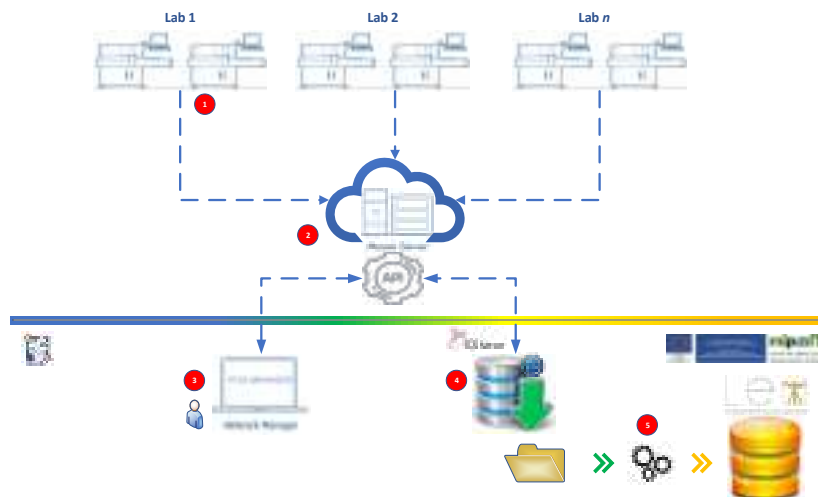
UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI PARMA

UNIVERSITY OF PARMA
AFNAE
Department of Agricultural, Food and Environmental Sciences
Innovative Systems and Technologies

Dalla stalla alla popolazione: quando la ricerca diventa innovazione di sistema



Spettri MIR: MOSAIC



11 laboratori Più di **45 milioni di spettri MIR** stoccati dal 2019

- 14 MilkoScan 7 RM
- 12 Fossomatic 7 DC
- 1 Fossomatic 7
- 1 Fossomatic FC
- 4 NIRS DS3



Progettare il futuro: la ricerca per la produzione primaria del Parmigiano Reggiano Cremona - sabato 29 novembre 2025



Base dati

- ✓ Emilia Romagna e Lombardia (Italy)
- ✓ ~ **2 Milioni di spettri MIR**
- ✓ ~ **300,000** bovine, 1,500 allevamenti multi-razza (Frisona, Incroci, Bruna, Pezzata Rossa, Reggiana)

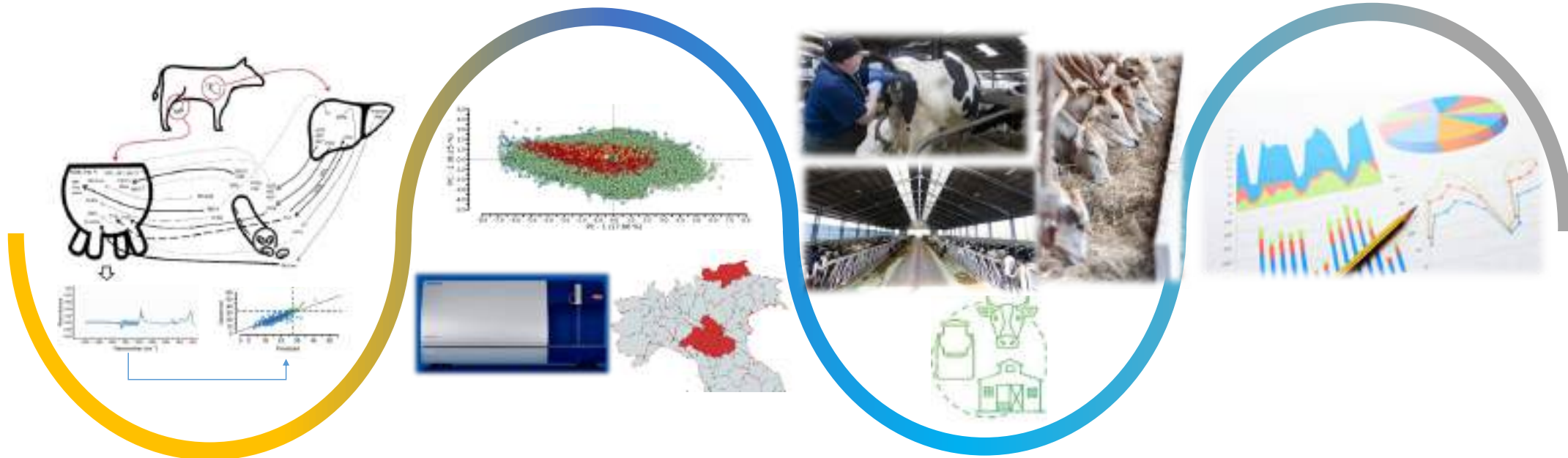
- ✓ Consorzio PR



- ✓ Provincia di Bolzano (Italy)
- ✓ ~ **2 Milioni di spettri MIR**
- ✓ ~ 120,000 bovine, 6,000 allevamenti multi-razza (Frisona, Bruna, Pezzata Rossa, Grigia Alpina)
- ✓ APA Bolzano



Disegno sperimentale



1) Sviluppo equazioni di calibrazione (~1,400 bovine, 5 allevamenti)

Giannuzzi et al., 2023 J Dairy Sci

2) Applicazione equazioni su database di popolazione:

- ✓ Emilia Romagna
- ✓ Provincia di Bolzano

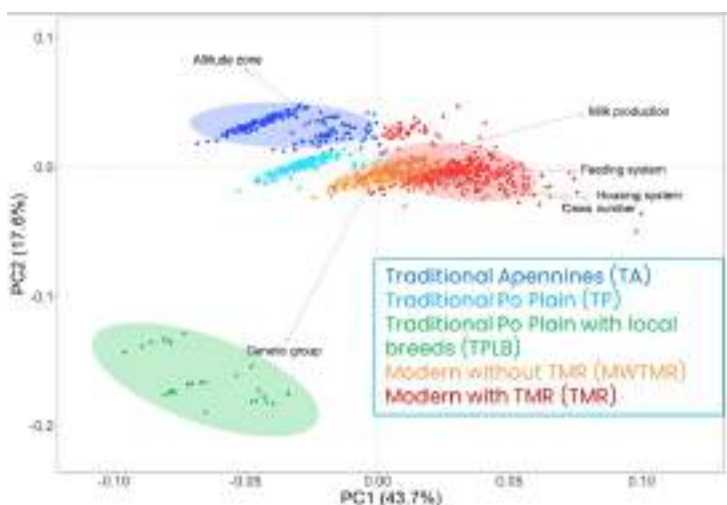
3) Unione con database forniti da:

- ✓ Consorzio PR Sistemi di allevamento, benessere (CReNBA) ecc.
- ✓ APA Bolzano (dati fertilità)

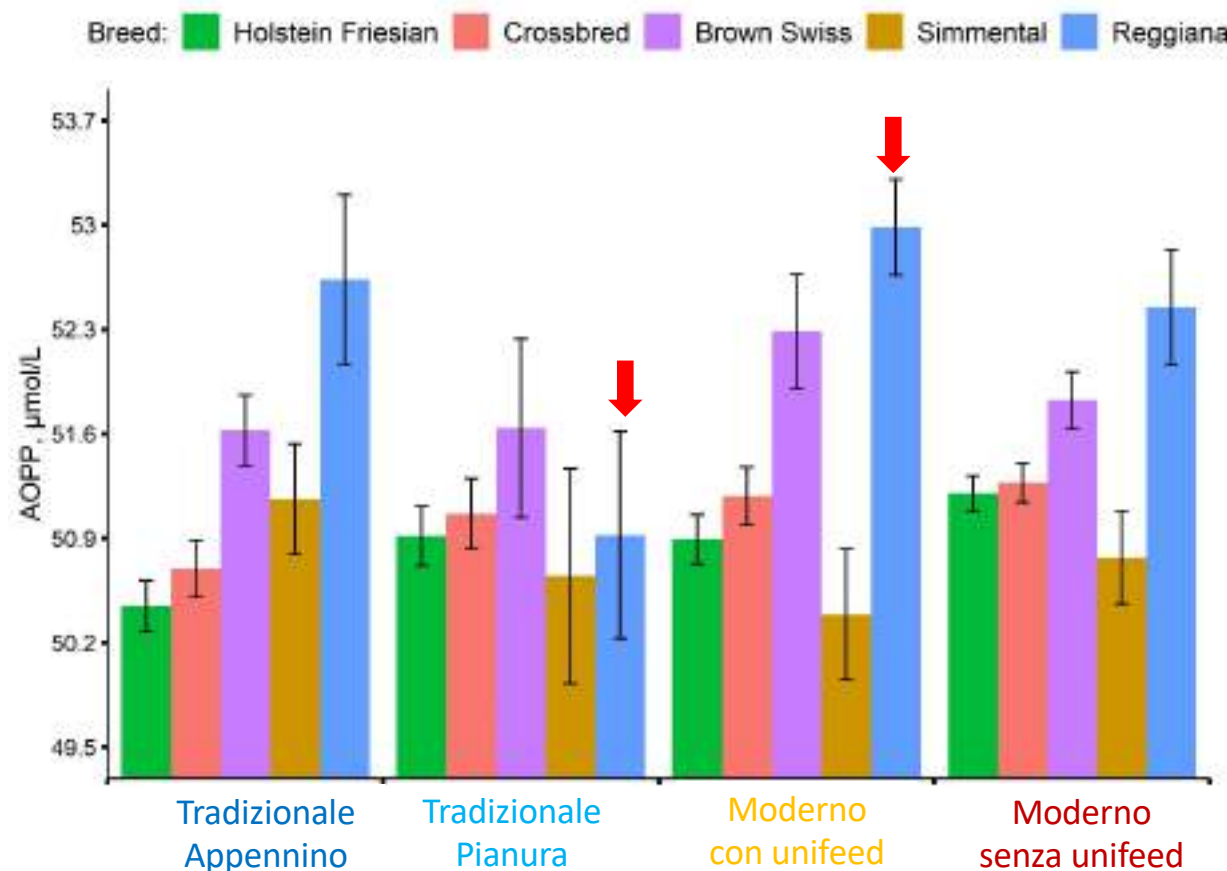
4) Analisi dati

Medie stimate AOPP - farming System × breed ($P < 0.001$)

Cinque sistemi di allevamento definiti
tramite clustering K-means



Ramirez Mauricio et al., 2024

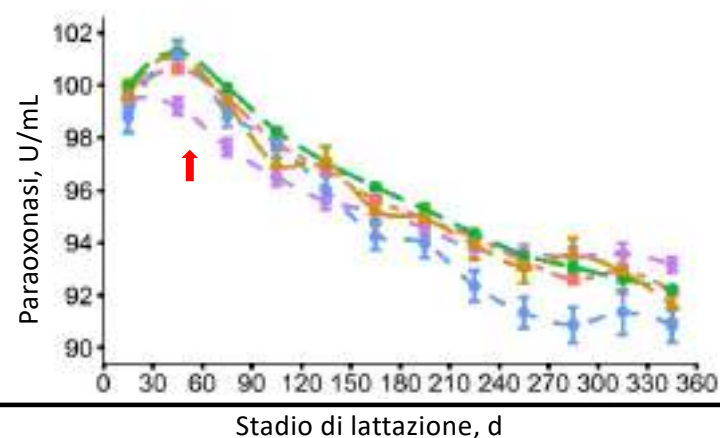
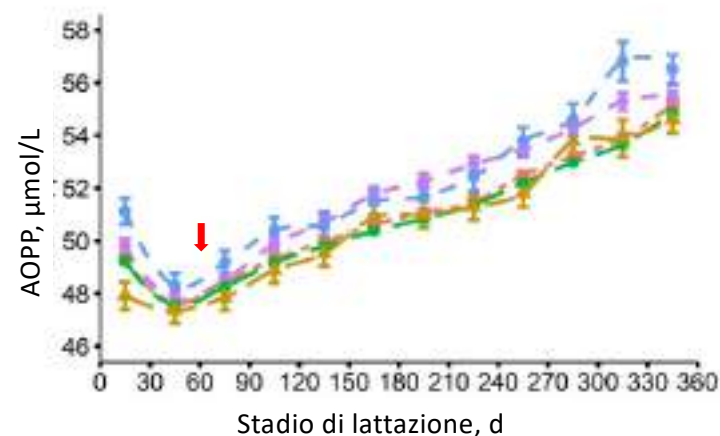
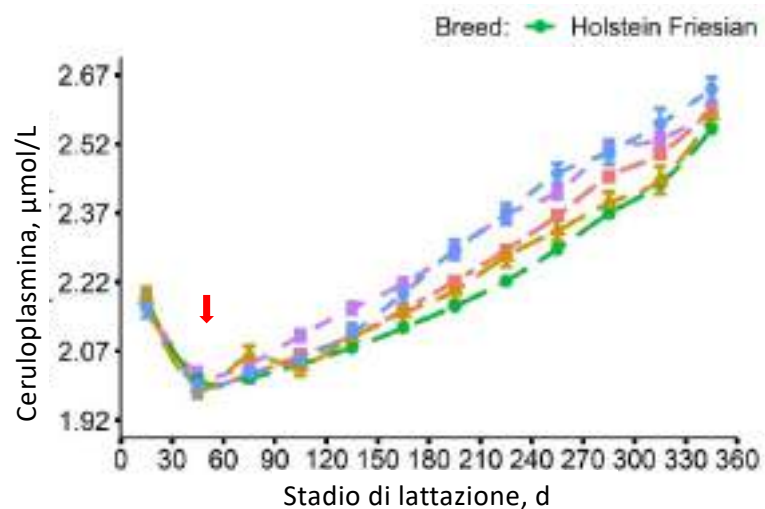




UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI PARMA

UNIVERSITY OF PARMIA
AFNAE
Rappresentanza di agricoltori, allevatori e consumatori
Associazione Allevatori e Fondatori

Pattern biomarcatori lungo la lattazione ($P < 0.01$)



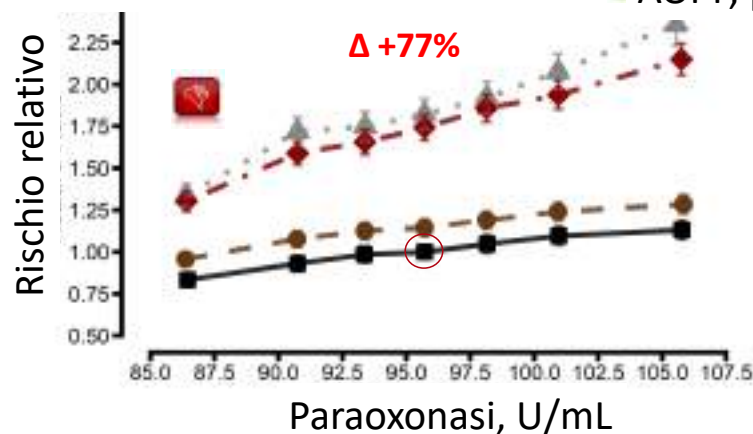
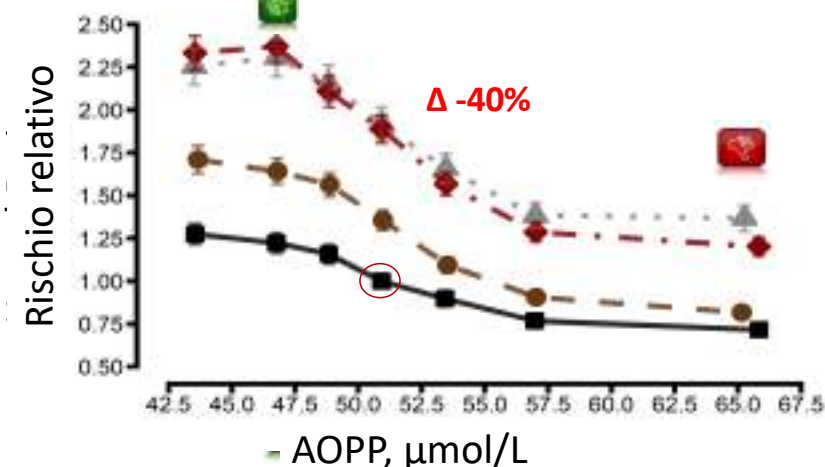
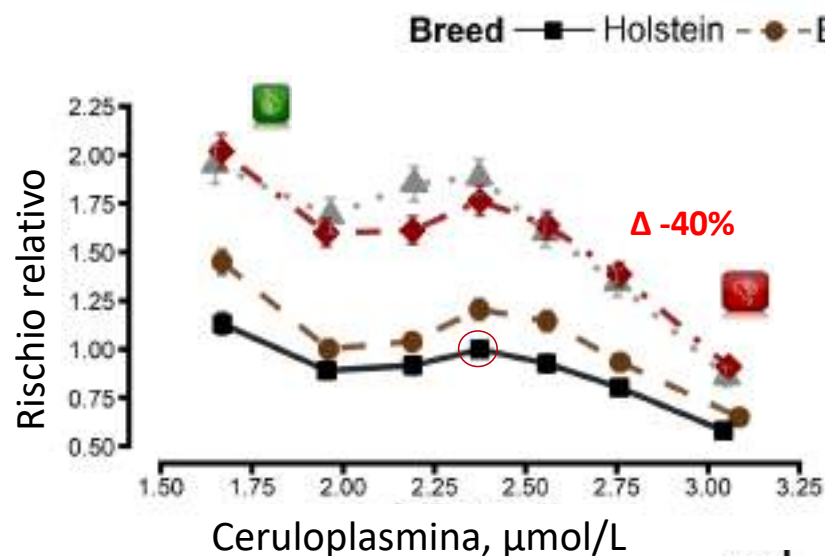
Ramirez Mauricio et al., 2025



Progettare il futuro: la ricerca per la produzione primaria del Parmigiano Reggiano Cremona - sabato 29 novembre 2025



“Rischio” di concepimento e biomarcatori ($P < 0.01$)



J. Dairy Sci. 100:2895–2903
<https://doi.org/10.3181/jds.2024-28481>
 © 2023, The Authors. Published by Elsevier Inc. on behalf of the American Dairy Science Association.
 This is an open access article under the CC BY license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

Associations between milk infrared-predicted plasma biomarkers of stress resilience and fertility in dairy cattle: insights for enhancing breeding programs and herd management

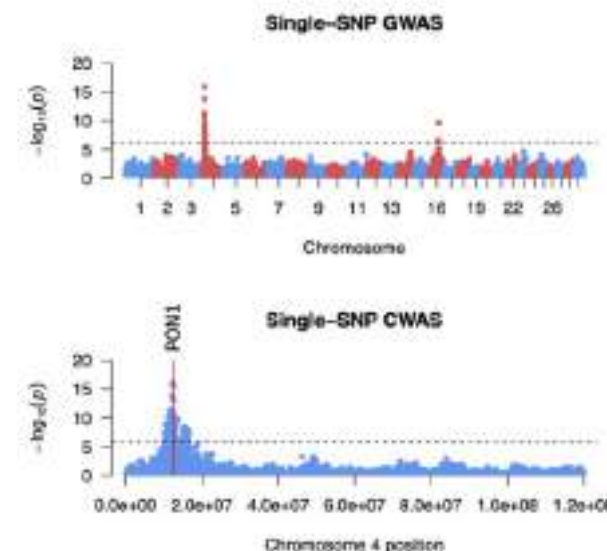
Alessio Cecchinato,¹ Hugo Toledo-Alvarado,² Lucia Flavia Macedo Mota,³ Vittoria Biondi,⁴ Erika Trivis,⁵ Riccardo Negrini,¹ Sara Pegolo,⁶ Daniela Schiavone,⁷ Luigi Gallo,⁸ Giovanni Biondi,⁹ and Diana Giannuzzi¹

¹Department of Agronomy, Food, Natural Resources, Animals and Environment (DAFNAE), University of Padua, 36020 Legnaro (PD), Italy
²Department of Genetics and Biotechnology, National Autonomous University of Mexico, Ciudad Universitaria, 04510 Mexico City, Mexico
³Department of Animal Sciences, Food and Nutrition (DANAF), Università Cattolica del Sacro Cuore, 00133 Rome, Italy
⁴Italian Association of Breeders (AIA), 00186 Rome, Italy

Ereditabilità



Funzionalità epatica	h^2
AST	0.28
ALP	0.46
GGT	0.28
Bilirubina	0.05
Albumina	0.21
Paraoxonasi	0.54
Infiammazione/ immunità innata	
Proteine totali	0.06
Globuline	0.12
Haptoglobina	0.19
Ceruloplasmina	0.33
Myeloperoxidasi	0.29
Stress ossidativo	
ROMt	0.30
FRAP	0.09
AOPP	0.14
Gruppi tiolici	0.09



Passamonti et al., 2024
J. Dairy Sci. 107:9602–9614



Progettare il futuro: la ricerca per la produzione primaria del Parmigiano Reggiano Cremona - sabato 29 novembre 2025



Emissioni di metano predette da acidi grassi e qualità tecnologica del latte



J. Dairy Sci. TBC

<https://doi.org/10.3168/jds.2025-27207>

© TBC, The Authors. Published by Elsevier Inc. on behalf of the American Dairy Science Association®.
This is an open access article under the CC BY license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

Impact of farming systems and welfare indicators on enteric methane emissions calculated from infrared-predicted milk fatty acids in Parmigiano Reggiano Consortium farms

Marco Aurelio Ramírez Mauricio,¹ Stefano Schiavon,¹ Diana Giannuzzi,¹ Nicolò Amalfitano,¹ Sara Pegolo,¹ Luigi Gallo,¹ Marco Nocetti,² Enrico Sturaro,³ Gustavo Martinez-Marin,⁴ Hugo Toledo-Alvarado,⁴ and Alessio Cecchinato^{1*}

¹Department of Agronomy, Food, Natural Resources, Animals and Environment (DAFNAE), University of Padua, 35020 Legnaro (PD), Italy

²Parmigiano Reggiano Cheese Consortium, Reggio Emilia, Italy

³Department of Reproduction and Animal Breeding, Faculty of Veterinary Medicine and Zootechnics, Autonomous University of Yucatán, 97100, Yucatán, México

⁴Department of Genetics and Biostatistics, Faculty of Veterinary Medicine and Zootechnics, National Autonomous University of Mexico, 04510, Mexico City, Mexico



~ 2 milioni di records, **predizione MIR**: i) produzione giornaliera di cagliata, ii) sostanza secca e iii) **acidi grassi** (4:0, 16:0 iso, 18:1 trans-10, 18:1 trans-11, 18:1 cis-9, 18:2 cis-9,cis-12)

→ van Lingen et al. (2014):

CH₄/DMI (g/kg): **produzione di metano**

CH₄/CM (g/kg): **intensità**

CH₄/CY_{CURD} (g/kg): **intensità/ resa formaggio**

CH₄/CY_{SOLIDS} (g/kg): **intensità/ resa sost secca**

Large-scale monitoring of infrared-predicted milk **protein fractions, minerals, coagulation properties, and individual cheese yield**: effects of breed, dairy systems, and their interactions

Amalfitano et al. in preparazione



~ 2 milioni di records, **predizione MIR**: i) frazioni proteiche del latte, ii) minerali, iii) proprietà di coagulazione del latte e iv) resa casearia individuale

Cosa abbiamo imparato e dove stiamo andando: conclusioni e prospettive

- Predizioni IR in linea con valori fisiologici attesi (es. fase post-partum)
- Predizioni IR promettenti ai fini del monitoraggio del benessere delle bovine
- Forte associazione con caratteri di fertilità (stress ossidativo)
- Utilizzo su larga scala (controlli funzionali), assistenza allevatori
- Nuovi fenotipi per il miglioramento genetico della resilienza

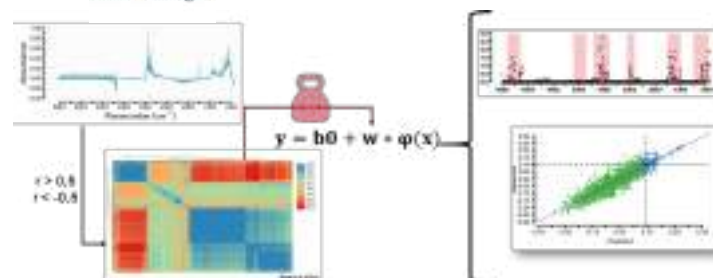
Cosa abbiamo imparato e dove stiamo andando: conclusioni e prospettive

- Studio longitudinale periparto → 300 bovine, 5 tempi, ~1,500 osservazioni (ecografie epatiche/lipidosi, biomarcatori stress, microbiobioma, sensoristici ecc.)
- Irrobustimento predizioni IR da trasferire in A
- Studio e validazione predizioni IR su un gruppo di 6-7 aziende pilota (PR)
- Verifica sul campo con ARAER (allevatori, tecnici, veterinari)



Prospettive (non troppo future)

Analisi IR latte (ARAER)

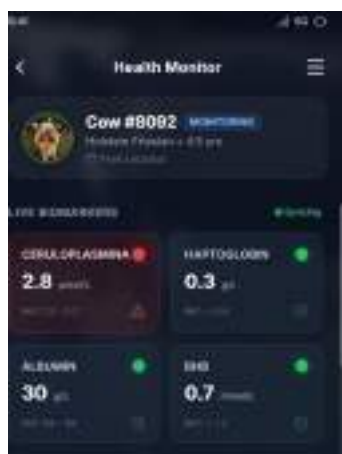


CHEDA DI RIEPILOGO DEL CONTROLLO BOVINI DA LATTE

ASSOCIAZIONE ITALIANA ALLEVATORI
Circolo morale - D.P.R. N.1051 del 27-10-1950
Circolo Terzo Delegato ai sensi del D.lgs. 521



GIORNI	LATTE		GRASSO		PROTEINE		CERULOPLASMINA
	KG	%	KG	%	KG	%	
20	5981	5,14	800	3,20	3,20	498	1,75
31	6335	4,36	276	3,05	3,43	424	2,80
347	12344	4,71	582	3,43	3,44	424	1,80
56	1569	4,97	78	78	3,44	398	1,80
280	13276	4,31	573	3,00	3,00	398	2,50
225	10236	4,97	509	3,13	3,13	320	1,90





UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI PADOVA



dairyomics_unipd



dairyomics.com



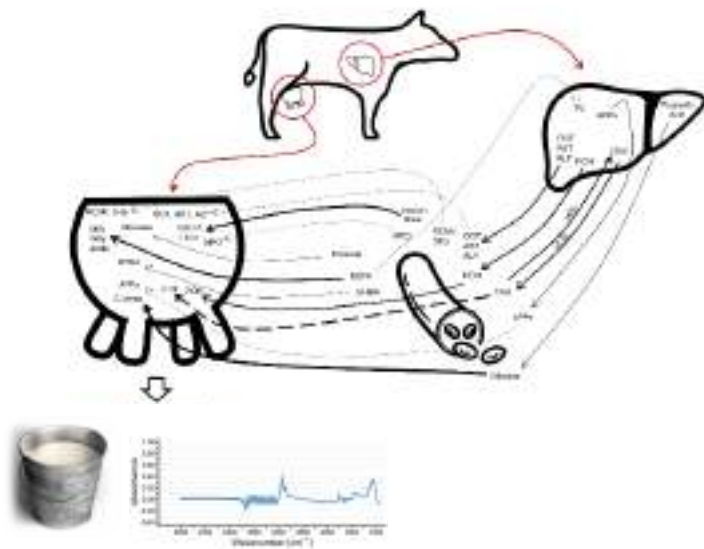
Viale dell'Università 16,
35020, Legnaro (PD), Italy



Grazie per l'attenzione!



Biomarcatori della risposta allo stress e resilienza



Funzionalità epatica

R²

AST

ALP

GGT

Bilirubina

Albumina

Paraoxonasi



Infiammazione/ immunità innata

Proteine totali

Globuline

Haptoglobina

Myeloperoxidasi

Ceruloplasmina



Stress ossidativo

ROMt

FRAP

Gruppi tiolici

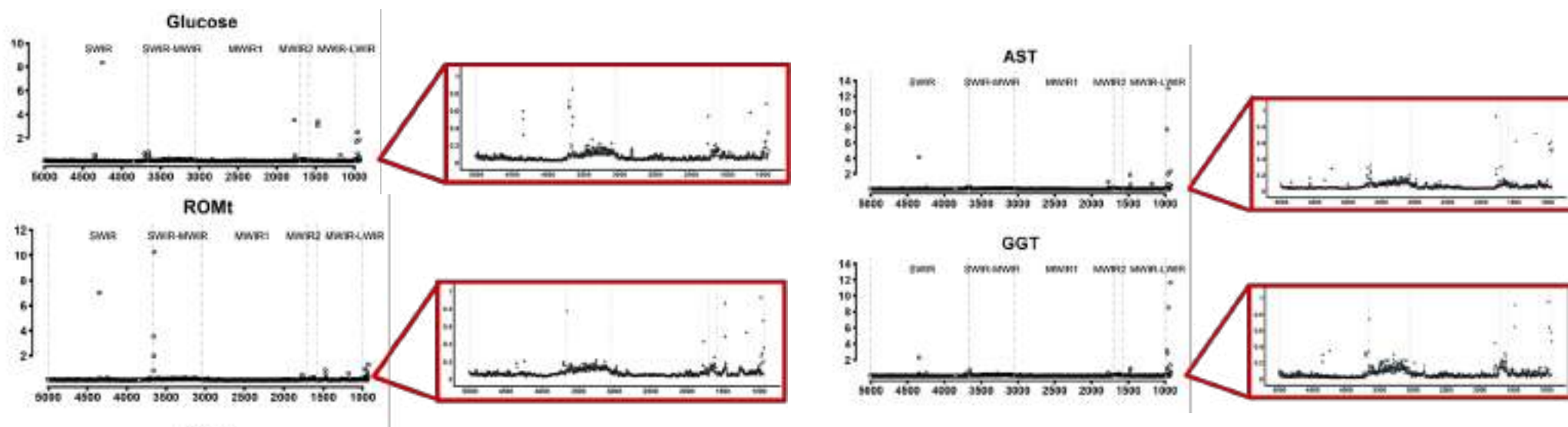
AOPP



What can the MIR spectrum tell us?

MIR wavelengths with >> recurrence of higher (%) variable importance:

- Energy-related metabolites: **971** (100%), **956** (83%), **940** (66%) cm^{-1}
- Liver function/hepatic damage: **956** (66%) cm^{-1}
- Oxidative stress metabolites: **956** (75%), **3,654** (50%) cm^{-1}



Variable importance values for the autoML algorithm across MIR spectrum (1,060 wavelengths) for blood metabolites

Giannuzzi et al., 2023 J. Dairy Sci. 106:3321–3344

Materials and methods



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI PADOVA

AFNAE

Dipartimento di Agronomia,
Alimenti, Risorse naturali,
Animali e Ambiente

**Ph.D. ANIMAL
COURSE FOOD
SCIENCE**
UNIVERSITY OF PADOVA

Dairy system clustering

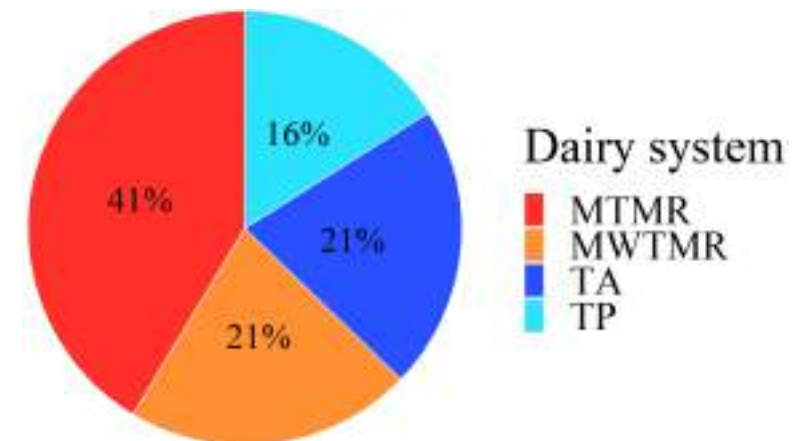
- ✓ Non-hierarchical approach
- ✓ K-means algorithm
- ✓ Based in five common management practices and farm characteristics:

Milk production (kg/cow/day)



Dairy system included in the analysis:

1. TA = Traditional Apennines
2. TP = Traditional Po Plain
3. MWTRM = Modern without TMR
4. MTRM = Modern with TMR



Ramirez Mauricio et al., 2025