

# UTILIZZO DELLA FT-NIRS PER IL MONITORAGGIO DEL VALORE CHIMICO-NUTRIZIONALE DELLE RISORSE FORAGGERE DI AZIENDE TRANSUMANTI ALPINE

**Vuerich I., Foletto V., Spigarelli C., Sepulcri A., Saccà E., Piasentier E., Bovolenta S., Corazzin M.**

DIPARTIMENTO DI SCIENZE AGROALIMENTARI AMBIENTALI E ANIMALI - Università di Udine

## Riassunto

Garantire un'elevata qualità della componente foraggera è un elemento imprescindibile in aziende zootecniche alpine. Questo aspetto rappresenta la chiave per l'ottenimento di un prodotto lattiero-caseario che assicuri, in una certa misura, la sostenibilità delle aziende zootecniche di montagna e un legame del prodotto stesso con il territorio di produzione. Scopo del presente lavoro è quello di valutare, mediante tecnologia FT-NIRs (*Fourier Transform Near Infrared Reflectance Spectroscopy*), la composizione chimica e il valore nutritivo di 96 campioni di erba di prati e pascoli raccolti in aziende agro-zootecniche delle Alpi orientali. Lo studio è inserito nel contesto del progetto TOPValue, finanziato con fondi europei Interreg V-A Italia-Austria 2014-2020, che mira a qualificare le filiere lattiero-casearie di montagna partendo dagli strumenti proposti dai Regg. UE 1151/12 e 665/14 e in particolare dall'indicazione facoltativa "Prodotto Di Montagna" (PDM), che può essere utilizzata per i prodotti agroalimentari prodotti o ottenuti in queste zone.

## Abstract

***FT-NIRs for the assessment of the chemical and nutritional value of forages in transhumance farms*** - The quality of the forages is a key factor for formulating diets that can meet the nutritional requirements of animals and for enhancing the relationship between dairy products and area of production. This is of particular importance in transhumance farms where the diet of dairy cows is largely composed by forages. FIT-NIRs is a technique already used to assess a wide variety of characteristics of different products. Aim of this study is to evaluate the FIT-NIRs as a tool for assessing the chemical composition and the nutritive value of meadows and pastures of the Eastern Alps. To this purpose, 96 samples was considered. The study is part of the project Interreg V-A Italy-Austria 2014-2020 TOPValue "Added value of the mountain product".

## Introduzione

Sull'arco alpino l'attività zootecnica è basata in buona parte su un utilizzo efficiente delle risorse foraggere disponibili. In aree molto spesso svantaggiate, come quelle montane, l'allevamento dei ruminanti rappresenta uno strumento in grado di sfruttare il foraggio, e in grado di convertire l'energia ricavata dal primo livello trofico in prodotti ad elevato valore nutritivo, quali carne e latte (Bovolenta *et al.*, 2008).

Il foraggio, inteso come erba fresca o conservata, rappresenta la principale risorsa delle aziende zootecniche alpine ed è quindi di fondamentale importanza assicurarne un'elevata qualità, al fine di formulare razioni alimentari che soddisfino i fabbisogni energetici della mandria.

Assicurare e monitorare la qualità chimico-nutrizionale del foraggio assume un'importanza strategica, sia in termini di qualità delle produzioni, sia in termini di legame dei prodotti lattiero-caseari con il territorio di produzione (Sturaro *et al.*, 2016). Il foraggio affienato (durante i mesi invernali) e il pascolo (nel periodo estivo) costituiscono spesso la base alimentare della mandria in zone di montagna (Borreani *et al.*, 2005), pertanto l'utilizzo e la valorizzazione della risorsa "foraggio" a livello aziendale può ridurre il ricorso all'acquisto di materie prime extra-aziendali, diminuire la dipendenza dal mercato e migliorare la competitività dell'allevamento (Ligabue *et al.*, 2011). Le tecniche di raccolta e conservazione del foraggio sono fondamentali per garantire elevati livelli qualitativi, intesi sia come salubrità, cioè assenza di micotossine, nitrati e spore di clostridi butirrici (i quali influiscono negativamente sulla qualità del latte e sulla caseificazione), sia come qualità nutrizionale. In particolare, le operazioni di meccanizzazione da considerare per garantire qualità nutrizionale elevata sono lo sfalcio e la raccolta.

Il valore nutritivo dei foraggi è fortemente influenzato dallo stadio vegetativo dell'erba e dall'epoca di taglio: uno sfalcio anticipato comporta l'ottenimento di un prodotto ad elevato valore nutritivo e proteico, ma povero in sostanza secca (Borreani *et al.*, 2005). Diversamente, se lo sfalcio viene posticipato, il contenuto energetico diminuisce a causa dell'incremento delle componenti fibrose, in particolare lignina. Come sottolinea Borreani *et al.* (2005), nella pratica aziendale si tende a raccogliere tardivamente, sia per massimizzare la resa in sostanza secca, sia per ridurre l'umidità dell'erba, fattore che rallenta il processo di essiccazione. Dopo il taglio la raccolta del foraggio non dovrebbe essere troppo anticipata, per evitare l'ottenimento di un prodotto ancora umido e l'eventuale sviluppo di muffe, ma nemmeno troppo posticipata, perché si rischia, durante le operazioni di imballaggio, di perdere gran parte delle foglie, sede principale delle proteine.

In ambienti zootecnici montani, quindi, monitorare la qualità della componente foraggera assume un'importanza strategica. Negli ultimi decenni sono state messe a punto nuove tecnologie che permettono una valutazione qualitativa rapida e accurata degli alimenti zootecnici utilizzati nelle razioni alimentari: una di queste è la spettroscopia di riflettanza nel vicino infrarosso (*Near Infrared Reflectance Spectroscopy*, NIRs). Le analisi chimiche svolte di consuetudine (ceneri, proteina grezza, estratto etereo, fibra grezza con metodo Weende, frazioni fibrose con metodo Van Soest) presentano diversi svantaggi, quali la complessità di esecuzione, i lunghi tempi di risposta e i costi elevati. Differentemente, il vantaggio principale della tecnologia NIRs, è la capacità di fornire dei risultati attendibili e accurati in breve tempo (Berzaghi & Riovanto, 2009).

La tecnologia NIRs è un metodo di analisi secondario che sfrutta alcune proprietà fisiche della materia, in particolare l'interazione di questa con le

radiazioni del vicino infrarosso. Questa tecnica si avvale della capacità di ogni composto chimico di assorbire, trasmettere o riflettere la radiazione luminosa: ogni componente chimico presenta quindi un proprio spettro di assorbimento. La tecnologia NIRs a trasformata di Fourier (FT-NIRs), permette di stimare la composizione chimica e nutrizionale di varie tipologie di campioni, consentendo di ottenere dei modelli di calibrazione e validazione, ottenuti correlando i dati spettrometrici con ogni singolo parametro chimico. I campi di applicazione di questa tecnologia sono molti, tra gli altri consente addirittura di svolgere le analisi *on-farm*, dando quindi la possibilità agli allevatori stessi di installare lo strumento sul carro miscelatore, sulle pale di carico, oppure utilizzare gli strumenti portatili.

Lo scopo di questo lavoro, inserito nel contesto del progetto TOPValue (Programma Interreg V-A Italia-Austria 2014-2020; Bovolenta et al., 2019), era di valutare la potenzialità della tecnologia FT-NIRs per la stima della composizione chimica e del valore nutrizionale (in termini di UFL e UFC) di campioni di erba di prati e pascoli alpini raccolti in aziende agro-zootecniche delle Alpi orientali italiane e austriache.

## **Materiale e metodi**

### Prelievo e preparazione dei campioni

Il presente lavoro ha previsto la raccolta di 96 campioni di erba in prati e pascoli di varie località delle Alpi Nord-Orientali, diversi tra loro per altitudine e tipologia di utilizzo. Per assicurare l'omogeneità dei campioni, sono state prelevate cinque aliquote per ciascun appezzamento. I campioni sono stati congelati per mantenere inalterate le caratteristiche fisico-chimiche, fino al momento dell'essiccazione in stufa a 60°C. In seguito ogni campione è stato macinato utilizzando un mulino con griglia 1,0mm.

### Analisi chimiche

Le analisi chimiche sono state eseguite in accordo con i protocolli AOAC Official Method per proteina grezza, estratto etereo, ceneri, fibra neutro detersa (NDF), fibra acido detersa (ADF), lignina acido detersa (ADL), fibra grezza. Il valore nutritivo (espresso in UFL e UFC) è stato calcolato seguendo le più recenti equazioni proposte da INRA (*Institut National de la Recherche Agronomique, 2018*).

### Analisi spettrometriche

Parallelamente alle analisi tipo, sono state eseguite le analisi spettrometriche sugli stessi campioni. Per l'acquisizione dello spettro è stata utilizzata una cella in vetro Petri, dove è stato distribuito il campione. Le

misure sono state eseguite in triplo con spettrometro NIRflex N500 (Buchi, Switzerland).

### Calibrazioni

La calibrazione e la validazione dei modelli di previsione dei diversi parametri chimici considerati, è stata effettuata utilizzando il software NIRCal 5,5. I dati di ogni campione sono stati divisi in un set di calibrazione e uno di validazione (rapporto 2:1). Gli spettri sono stati pre-trattati al fine di eliminare tutti gli elementi in grado di disturbare la misura. Invece, gli spettri considerati non idonei sono stati eliminati dopo una valutazione grafica ed analitica con il software NIRCal. Con lo stesso software sono state eseguite le analisi chiometriche dei dati; le correlazioni tra i dati spettrometrici e ogni singolo parametro chimico sono state esaminate con i metodi multivariati della PLS (*partial least square*) regression e PCA (*principal component analysis*). Il numero ideale di componenti principali è stato ricavato attraverso la valutazione del PRESS (*predicted residual error sum of square*), mentre la determinazione del modello più affidabile per la previsione di ciascun parametro chimico è stata fatta utilizzando la statistica Q (*square prediction error*) e RPD (*ratio performance deviation*).

Per consentire un'adeguata comparazione con i dati di lettura, la validità dei modelli è stata espressa anche con l'errore standard e il coefficiente di determinazione in calibrazione e validazione ( $R^2_C$ : coefficiente di determinazione della calibrazione; SEC: errore standard della calibrazione;  $R^2_P$  coefficiente di determinazione della validazione; SEP: errore standard della validazione).

## **Risultati e discussione**

### Analisi chimiche

I risultati statistici delle analisi chimiche sono riassunti nella Tabella 1. Il contenuto in ceneri dei campioni analizzati è risultato mediamente pari a 8,41%. Da un recente studio (Parrini *et al.*, 2018) è emerso che il contenuto medio in ceneri di pascoli della Toscana è mediamente di 10,01%, superiore a quello ricavato dalla presente analisi. In una ricerca condotta in aree dell'Italia centrale su campioni di prati e pascoli, Danieli *et al.* (2004) ha ottenuto valori medi in ceneri di 11,15%. Il contenuto di ceneri nel foraggio generalmente varia in base alla specie botanica, ma un valore elevato (superiori al 10%) non è più riconducibile alla specie vegetale, ma è indice di un inquinamento da terra, dovuto principalmente all'imbrattamento delle piante (ad esempio causato da piogge battenti o allagamenti), oppure a una distanza tra la barra falciante e il terreno troppo ridotta (Pacchioli M.T. & Fattori G., 2014).

La proteina grezza risulta pari a 15,0%, è stata riscontrata discreta variabilità nei campioni analizzati. I valori medi di proteina rilevati in questa ricerca appaiono in linea con quelli rilevati da Parrini *et al.* (2018); Danieli *et al.* (2004) ha ricavato una media di 19,01%, valore superiore rispetto alla presente ricerca. Questo parametro diminuisce progressivamente dalla fase di levata alla maturazione, per effetto dell'invecchiamento dei tessuti. La diminuzione del livello proteico con il procedere della stagione vegetativa trova conferma, infatti, in altre ricerche, dove viene rimarcata tale diminuzione dal periodo primaverile a quello estivo (Bovolenta *et al.*, 2005; Miraglia *et al.*, 2008).

L'estratto etereo, ovvero la frazione lipidica del foraggio, rappresenta una quota modesta della composizione chimica. I dati ottenuti dal presente lavoro indicano un contenuto in estratto etereo pari a 2,69%, leggermente superiore al dato ottenuto da Parrini *et al.* (2018), che ha ricavato una media di 1,91%.

Considerando i parametri della componente fibrosa del foraggio, quali fibra grezza, NDF, ADF e ADL, si osserva in generale un aumento di tali componenti parallelamente alla maturazione dell'erba. Tra i vari componenti della parete cellulare, nel presente studio, quello che presenta una maggiore variabilità, in base al coefficiente di variazione, è il contenuto di ADL, seguito da fibra grezza, ADF, mentre il parametro più uniforme è stato NDF. Il valore medio di fibra neutro detersa, contenente tutte le frazioni fibrose, corrisponde a 56,1%; questo parametro è fortemente influenzato dal periodo di raccolta, perché presenta un andamento crescente con l'aumentare dello stadio vegetativo. Questi risultati sono in linea con quanto trovato da Danieli *et al.*, 2004. Valori contrastanti sono stati ottenuti invece in una ricerca condotta su fieni di prato stabile dell'Emilia Romagna, dove è stata ricavata una media in NDF di 60,21% (C.R.P.A., 2009). Per quanto riguarda la fibra acido detersa, il valore medio rilevato nei pascoli presi in esame è stato di 32,7%. Parrini *et al.* (2018) ha rilevato valori più elevati (34,49%). La percentuale di ADF rispecchia in parte quella del NDF.

Il contenuto in lignina, nei campioni in esame è risultato mediamente di 4,76%, valore inferiore allo studio proposto da Parrini *et al.* (2018) e da altri autori; in campioni dell'Italia centrale il valore riportato è pari a 6,33% (Danieli *et al.*, 2004). La lignina, come quanto trovato con l'analisi dell'NDF e della fibra grezza, è un'altra componente della parete cellulare che aumenta progressivamente in percentuale col proseguire della stagione vegetativa e che cresce in maniera lineare all'aumentare di specie legnose.

La fibra grezza è un parametro che aumenta progressivamente passando dallo stadio d'inizio fioritura a quello di fioritura-maturazione; il valore medio ricavato dalla presente analisi corrisponde a 27,16%, in linea con quello ricavato da Parrini *et al.* (2018) (27,58%).

Il valore nutritivo, espresso in Unità Foraggiere Latte (UFL) e carne (UFC) per kg di sostanza secca, è risultato mediamente molto alto; i valori medi rilevati sono stati infatti pari a 0,94 UFL/kg s.s. e 0,88 UFC/kg s.s. Lo studio di riferimento ha rilevato dei valori medi inferiori al presente lavoro: 0,87 UFL/kg s.s. e 0,76 UFC/kg s.s. (Parrini *et al.* 2018). Si rileva tuttavia che la stima del valore nutritivo dei foraggi è stata, nel presente lavoro, effettuata seguendo le più recenti indicazioni dell'INRA (INRA, 2018), pertanto il confronto con i dati dei lavori meno recenti è spesso fuorviante.

**Tabella 1** - Statistiche descrittive relative alla composizione chimica dei campioni.

	PG	EE	Ceneri	NDF	ADF	ADL	Cen ADL	FG	UFL	UFC
No.	93	92	92	96	93	91	91	93	93	94
Media, %SS	15.0	2.69	8.41	56.1	32.7	4.76	0.731	27.1	0.94	0.88
DS, %	2.46	0.385	1.711	4.87	3.02	1.11	0.230	2.53	0.07	0.08
CV, %	16.4	14.3	20.4	8.68	9.21	23.3	31.4	9.35	13.1	10.4
Min, %SS	9.4	1.85	5.08	43.3	26.1	2.75	0.349	20.6	0.75	0.65
Max, %SS	21.4	3.80	14.5	70.0	43.1	8.16	1.469	34.5	1.15	1.13

### Calibrazioni NIR

Il numero di campioni necessari per ottenere delle appropriate rette di taratura NIR dipende soprattutto dal livello di omogeneità degli stessi, maggiore è l'omogeneità per la caratteristica studiata e minore è il numero da considerare. In generale, il numero minimo di campioni per ottenere delle rette di taratura iniziali, è di circa 30; se invece si vogliono ottenere delle calibrazioni "più robuste", il numero minimo di campioni è 100 (Agelet & Hurburgh, 2010). Il numero di campioni utilizzati per il presente studio e finalizzati alla costruzione delle rette di calibrazione NIR, è stato 96.

Al fine di valutare l'efficacia predittiva delle rette di calibrazione, è stata utilizzata la statistica Q (*square prediction error*); il valore Q pesa tutte le calibrazioni mediante un numero compreso tra 0 (non attendibile) e 1 (ideale), quando Q è inferiore a 0,5 la calibrazione è considerata "poco accurata", da 0,5 a 0,75 la calibrazione è considerata "utilizzabile ma migliorabile", mentre se Q è maggiore di 0,75 la calibrazione sta fornendo

dei risultati affidabili (Bonfiglio *et al.*, 2011). Un ulteriore parametro calcolato per valutare le varie calibrazioni è il RPD (*ratio performance deviation*), determinato come rapporto tra la deviazione standard (SD) e l'errore standard di predizione (SEC, *errore standard calibrazione*; SEP, *errore standard validazione*). RPD è strettamente legato alla capacità della retta di calibrazione di prevedere delle variabili future, in rapporto alla variabilità iniziale dei dati di calibrazione (Agelet & Hurburgh, 2010). Nello specifico se  $RPD > 10$ , il modello predittivo è equivalente all'analisi chimica, se  $RPD > 3$ , il modello può essere usato di "routine", se  $RPD > 2$ , il modello indica una buona calibrazione, se  $RPD < 1,5$  la calibrazione risulta scadente ed è necessario un numero maggiore di campioni (Su *et al.*, 2014). Per valutare la validazione si utilizza il coefficiente di determinazione ( $R^2$ ), che fornisce una stima della varianza presente tra i valori di riferimento e quelli previsti (Agelet & Hurburgh, 2010). L'errore quadratico medio (RMSE) misura la discrepanza quadratica media fra i valori dei dati osservati e i valori dei dati stimati, l'RMSE stima quindi l'accuratezza del modello nel predire la risposta.

I risultati della calibrazione e della validazione di tali modelli sono riportati in Tabella 2. Dalla calibrazione e dalla validazione sono stati ottenuti discreti modelli di predizione. Nello specifico: proteina grezza (0,7507 Q value), estratto etereo (0,7585 Q value), ceneri (0,7409 Q value), NDF (0,6234 Q value), ADF (0,6415 Q value), ADL (0,6820 Q value), ceneri ADL (0,6750 Q value), fibra grezza (0,6372 Q value), UFL (0,8164), UFC (0,8243). In generale, come precedentemente riportato, attraverso i valori di Q dei modelli predittivi delle diverse componenti chimiche, si può affermare che le calibrazioni ottenute sono tutte utilizzabili, anche se migliorabili. Valori particolarmente buoni sono stati ottenuti per il valore nutritivo (UFL e UFC).

I modelli predittivi del presente lavoro hanno rivelato dei valori di RPD che indicano buone correlazioni per estratto etereo (2,26), NDF (2,56), ADF (2,36), ADL (2,2), fibra grezza (2,00), UFL (2,32), UFC (2,71) e ottime per proteina grezza (3,27) e ceneri (3,04); il più basso RPD è riferito alle ceneri ADL (1,73). Tutti i modelli predittivi hanno quindi riportato un  $RPD > 1,5$ , valore minimo rilevato in letteratura (Su *et al.*, 2014). Il numero di fattori (componenti) dei modelli predittivi varia da 3 a 7; i risultati migliori, analizzati con i metodi di regressione PCA e PLS, sono stati ottenuti con il trattamento PLS. Tutte le variabili hanno mostrato coefficienti di determinazione in calibrazione superiori a 0,75, con valori vicini all'ideale per la proteina grezza ( $R^2=0,906$ ).

I risultati ottenuti, confrontati con quelli di Fedaku *et al.* (2010), ricavati da campioni di erba di pascolo, mostrano un coefficiente di determinazione più alto, indice di un miglior grado di correlazione. In particolare: proteina

grezza ( $R^2=0,83$  vs  $R^2=0,906$ ), NDF ( $R^2=0,79$  vs  $R^2=0,849$ ), ADF ( $R^2=0,75$  vs  $R^2=0,814$ ) e lignina ( $R^2=0,77$  vs  $R^2=0,793$ ). Risulta uguale invece il coefficiente di determinazione delle ceneri, pari a 0,86. Diversamente, l'errore standard in calibrazione (SEC) appare più elevato nel lavoro di Fedaku *et al.* (2010), nel quale raggiunge un valore molto buono per NDF (4,44).

Prendendo in considerazione altri studi sull'applicazione della tecnologia NIRs per l'analisi dei foraggi, Danieli *et al.* (2004) ha analizzato 173 campioni, ottenendo dei valori  $R^2$  e SEP migliori di quelli proposti (proteina grezza  $R^2=0,94$ , SEP=1,3; NDF  $R^2=0,95$ , SEP=2,14; ADF  $R^2=0,92$ , SEP=2,06; fibra grezza  $R^2=0,93$ , SEP=1,57; ceneri  $R^2=0,95$ , SEP=1,17). I modelli ottenuti dalla calibrazione della lignina non sono risultati idonei per la quantificazione di tale componente (Danieli *et al.*, 2004).

Uno studio cileno (Alomar *et al.*, 2009), che ha previsto l'analisi del valore nutritivo di 107 campioni di pascolo con tecnologia NIRs, differenti per umidità e temperatura, ha ottenuto dei risultati in calibrazione migliori del presente studio, in particolare per proteina grezza ( $R^2=0,93$ , SECV=3,7) e ADF ( $R^2=0,90$ , SECV=3,20). Anche Lobos *et al.* (2013), nella determinazione del valore nutritivo di pascoli polifiti cileni, ha ricavato un ottimo RPD per proteina in calibrazione (calcolato sul SEC) di 10,3 e  $R^2=0,99$ , valore nettamente superiore rispetto a quello ricavato dal presente lavoro e da Alomar *et al.* (2009); tale differenza è dovuta probabilmente al maggior numero di campioni utilizzati rispetto agli altri lavori (in Lobos *et al.* (2013) 208 campioni).

Il lavoro di Parrini *et al.* (2018) presenta dei risultati in calibrazione molto buoni per tutte le componenti, in particolare ottiene un buon  $R^2$  e RPD per la proteina ( $R^2=0,995$ , RPD=10,3), molto buono anche per l'estratto etereo ( $R^2=0,989$ , RPD=7,0) e per le componenti fibrose (NDF  $R^2=0,994$ , RPD=9,1; ADF  $R^2=0,991$ , RPD=7,4; ADL  $R^2=0,991$ , RPD=8,5). Per quanto riguarda invece i risultati in calibrazione di UFL e UFC, Parrini *et al.* (2018) ottengono valori modesti, soprattutto RPD (UFL 1,6; UFC 1,5), anche se le unità foraggere dovrebbero essere considerate separatamente, in quanto questi non sono risultati derivanti dall'analisi spettrale del campione, ma da una derivazione matematica.



**Tabella 2 -** Statistiche dei modelli di predizione con metodo di regressione PLS.

	No. fatt.	Set di calibrazione			Set di validazione					Statistica Q
		R <sup>2</sup> <sub>c</sub>	SEC	RDP <sub>c</sub>	R <sup>2</sup> <sub>p</sub>	SEP	BIAS	RDP <sub>p</sub>	RMSEP	
PG,%SS	5	0.906	0.74	3.27	0.913	0.75	0.003	3.42	0.75	0.7507
EE,%SS	7	0.804	0.17	2.26	0.830	0.17	0.004	2.45	0.17	0.7585
Cen,%SS	3	0.860	0.61	3.04	0.890	0.62	0.017	2.68	0.62	0.7409
NDF,%SS	6	0.849	1.92	2.56	0.832	1.94	0.453	2.54	1.99	0.6234
ADF,%SS	4	0.814	1.26	2.36	0.805	1.25	-0.085	2.47	1.25	0.6415
ADL,%SS	7	0.793	0.51	2.22	0.802	0.49	0.074	2.17	0.50	0.6820
Cen ADL, %SS	6	0.665	0.13	1.73	0.673	0.14	0.018	1.76	0.14	0.6750
FG,%SS	3	0.751	1.27	2.00	0.759	1.27	0.042	1.98	1.27	0.6372
UFL	7	0.814	0.032	2.32	0.830	0.028	0.0013	2.46	0.028	0.8164
UFC	7	0.862	0.032	2.71	0.842	0.031	0.0016	2.51	0.031	0.8243

R<sup>2</sup><sub>c</sub>: coefficiente di determinazione della calibrazione; SEC: errore standard della calibrazione; RDP<sub>c</sub>: *ratio of performance to deviation in calibrazione*; R<sup>2</sup><sub>p</sub>: coefficiente di determinazione della calibrazione; SEP: errore standard della validazione; RDP<sub>p</sub>: *ratio of performance to deviation in validazione*; RMSEP: root mean square error of prediction.

## Conclusioni

L'applicazione della tecnologia FT-NIRs su campioni di erba di prati e pascoli delle Alpi nord-orientali ha consentito di ottenere discreti modelli di predizione per proteine ed estratto etereo, mentre sono stati ottenuti valori buoni per UFL e UFC.

L'utilizzo di questa tecnologia rientra a pieno titolo in quella che, negli ultimi anni, è stata definita "zootecnia di precisione", in quanto consente agli allevatori di ottenere indicazioni rapide, ma altrettanto accurate e affidabili, sulla composizione dei foraggi aziendali. Inoltre, aumentando il database sarà probabilmente possibile aumentare la variabilità campionaria e potenzialmente migliorare la capacità predittiva delle calibrazioni.

In ultima analisi, un monitoraggio costante della qualità della componente foraggera permette di verificare gli effetti delle scelte gestionali e massimizzare l'autosufficienza foraggera aziendale, quest'ultima molto difficile da raggiungere nelle aziende zootecniche di montagna, dove la

superficie agricola utilizzata aziendale è ridotta e i limiti alla meccanizzazione sono numerosi.

**Ringraziamenti** - La ricerca è stata finanziata con fondi UE Interreg V-A Italia-Austria 2014-2020, Progetto *TOPValue* (ITAT2009).

## Bibliografia

- Agelet L.E., Charles R. Hurburgh Jr., 2010. *A tutorial on Near Infrared Spectroscopy and it's Calibration*. Critical Reviews in Analytical Chemistry.
- Alomar D., Fuchslocher R., Cuevas J., Mardones R., Cuevas E., 2009. *Prediction of the composition of fresh pastures by near infrared reflectance or interactance-reflectance spectroscopy*. Chilean Journal of Agricultural Research.
- Berzaghi P., Riovanto R., 2009. *Near infrared spectroscopy in animal science production: principles and applications*. Italian Journal of Animal Science, 8: 39-62.
- Bonfiglio F., Farina I., Pieri S., Doldàn J., 2011. *Prediction of Pulp Yield and Basic Density of Eucalyptus spp. using Near Infrared Spectroscopy (NIR)*.
- Borreani G., Tabacco E., Blanc P., Gusmeroli F., Della Marianna G., Pecile A., Kasal A., Stimpfl E., Tarello C., Arlian D., 2005. *La qualità del fieno di montagna va migliorata*. L'informatore agrario, 62 (21): 47-52.
- Bovolenta S., Pasut D., Dovier S., 2008. *L'allevamento in montagna. Sistemi tradizionali e tendenze attuali*. Quaderni SoZooAlp (SoZooAlp, Trento), 5: 22-29.
- Bovolenta S., Krištof P., Ressi W., Sturaro E., Trentin G., Venerus S., 2019. I servizi ecosistemici e l'indicazione "PDM" a sostegno delle filiere lattiero-casearie di montagna: il progetto TopValue. In: S. Bovolenta e E. Sturaro (a cura di) I servizi ecosistemici: opportunità di crescita per l'allevamento in montagna? Quaderni SoZooAlp (SoZooAlp, Trento), 10, 61-72.
- Danieli P.P., Carlini P., Bernabucci U., Ronchi B., 2004. *Quality evaluation of regional forage resources by means of near infrared reflectance spectroscopy*. Italian Journal of Animal Science, 3 : 363-376.
- Fedaku D., Bediye S., Kehaliw A., Daba T., Kitaw G., Assefa G., 2010. *Near Infrared Reflectance Spectroscopy (NIRS) for determination of chemical entities of natural pastures from Ethiopia*. Agriculture and biology journal of North America, 1(5) : 919- 922.
- INRA, 2010. *Alimentation des Bovins, Ovins and Caprins*. Institute National de la Recherche Agronomique (INRA). Paris, France.
- INRA, 2018. *Alimentation des Bovins, Ovins and Caprins*. Institute National de la Recherche Agronomique (INRA). Paris, France.
- Ligabue M., Bortolazzo E., Daviolo R., 2011. *Come valorizzare la qualità dei fieni aziendali*. L'informatore agrario, 2: 57-60.
- Lobos I., Gou P., Hube S., Saldana R., Alfaro M., 2013. *Evaluation of potential nirs to predict pastures nutritive value*. Journal of Soil Science and Plant Nutrition, 2(13) : 463-468.
- Miraglia N., Costantini M., Polidori M., Meineri G., Peiretti P.G., 2008. *Exploitation of a natural pasture by wild horses: comparison between nutritive characteristics of the land and the nutrient requirements of the herds over a 2-year period*. Animal, 2(3): 410-418.
- Sturaro E., Battaglini L., Bovolenta S., Cozzi G., Gusmeroli F., Mattiello S., Paoletti R., Peratoner G., Ventura W., 2016. *Produzioni lattiero-casearie alpine: quando il formaggio valorizza il territorio*. Quaderni SoZooAlp (SoZooAlp, Trento), 9: 9-16.
- Su H., Sha K., Zhang L., Zhang Q., Xu Y., Zhang R., Li H., Sun B., 2014. *Development of near infrared reflectance spectroscopy to predict chemical composition with a wide range of variability in beef*. Meat Science, 98 : 110-114.
- Pacchioli M.T., Fattori G. (a cura di), 2014. *Gli alimenti per la vacca da latte: i foraggi*. CRPA (Centro Ricerche Produzioni Animali). p. 80.
- Parrini S., Acciaioli A., Crovetto A., Bozzi R., 2018. *Use of FT-NIRS for determination of chemical components and nutritional value of natural pasture*. Italian Journal of Animal Science, 17:1, 87-91.