

Indici Morfologico Lineari

Il lavoro è stato intrapreso utilizzando un dataset fornito dall'Associazione Nazionale Allevatori Maremmano (ANAM). Il file era costituito da 600 record, relativi a 40 maschi e 560 femmine, conteneva le seguenti variabili:

Prospetto 1 – Variabili e relativo acronimo

VARIABILE	ACRONIMO
Identificativo cavallo	MAT
numero scheda	NUM
Data valutazione	DATA
Luogo della valutazione	LOC
<i>Valutazioni biometriche</i>	
Altezza garrese(cm)	HG
Circonferenza torace(cm)	CT
Circonferenza stinco(cm)	STI
Lunghezza spalla (cm)	SPA
<i>Valutazioni lineari</i>	
Testa profilo	TPL
Testa volume	TVL
Collo lunghezza	COL
Collo allineamento	COAL
Spalla lunghezza	SPLL
Spalla inclinazione	SPIL
Garrese altezza	HGL
Petto larghezza	PELL
Torace altezza	ATL
Dorso profilo	DPL
Dorso lunghezza	DLL
Lombi lunghezza	LLL

Groppa inclinazione	GIL
Groppa lunghezza	GLL
Groppa larghezza	GLAL
Anteriori fronte chiuso	AF1L
Anteriori fronte mancino	AF2L
Anteriori fronte valgo	AF3L
Anteriore lato incav	ALL
Posteriori dietro chiuso	PD1L
Posteriori dietro mancino	PD2L
Posteriori dietro valgo	PD3L
Posteriori lato falciato	PLL
Pastoia	PAL
Body Condition Score	BCS

Come si può osservare, alcune di queste sono misure riportate in cm, altre sono, invece, rilievi lineari espressi in 15 classi; infine, viene rilevato anche il Body Condition Score espresso in cinque livelli. Tutte le informazioni sono state acquisite utilizzando la scheda morfologico-lineare preparata dal Centro di Ricerca sul Cavallo Sportivo (CRCS) per l'ANAM.

In relazione ai caratteri va considerato che gli stessi possono avere una diversa interpretazione; alcuni di questi, pur importanti per le performance, hanno una valenza di bellezza zoognostica, legata all'armonia fisica dell'animale, come: TPL, TVL, COAL, SPIL, HGL, DPL, GIL. Altri sono espressione della "misura fisica" ed hanno un sicuro effetto sulle prestazioni: COL, PELL, SPLL, ATL, DLL, LLL, GLL, GLAL; altri, infine, legati alle caratteristiche strutturali degli arti e di chiaro riferimento zoognostico, sono di fondamentale importanza per le prestazioni: AF1L, AF2L, AF3L, ALL, PD1L, PD2L, PD3L PLL, PAL.

Un primo screening del dataset ha evidenziato che le valutazioni lineari erano state effettuate da 25 esperti, alcuni di questi, che avevano eseguito un limitatissimo numero di giudizi (< di 5), sono stati eliminati dall'analisi; sono pertanto rimasti gli esperti riportati, nel Prospetto 2:

Prospetto 2 – Esperti e relativo numero di valutazioni:

ESPERTO	N°VALUTAZIONI
A	88
B	34
C	23
D	29
E	30
F	12
G	12
H	33
I	48
L	36
M	134
N	46
O	28
P	17
Q	23

Una ulteriore valutazione degli esperti è stata effettuata stimando, per ognuno, la correlazione tra i punteggi lineari da loro espressi e la corrispondente misura oggettiva in cm del carattere; allo scopo sono state utilizzate la circonferenza toracica e la lunghezza della spalla. Laddove queste correlazioni risultavano particolarmente basse ($< 0,30$), i valutatori e le relative valutazioni venivano eliminati; in particolare si trattava dei valutatori D, G, O, P per un totale di 86 valutazioni. Il campione utilizzato per lo studio dopo lo screening effettuato comprendeva 501 cavalli (40 maschi e 461 femmine).

Prima di procedere al trattamento statistico dei dati, i giudizi identificati nella scheda con le lettere (A,...,Q) sono stati opportunamente “tradotti” in valori numerici (1,...,15). In dettaglio, in un primo gruppo di caratteri, che si riferiva a misure quantitative, si procedeva assegnando alla classe

relativa alla misura più bassa (A) il valore 1 che, aumentava poi nelle classi successive fino a 15 nella classe Q.

In un secondo gruppo di caratteri, che esprimevano la correttezza zoognostica o la tipicità di razza, veniva invece assegnato il valore di 15 alla classe centrale (H) in cui sono presenti gli animali senza difetto o molto tipici; valori simmetricamente sempre più bassi venivano attribuiti alle altre classi in funzione della loro distanza da quella centrale. In tal modo le classi estreme (A e Q) assumevano i valori numerici più bassi (1 e 2).

I caratteri compresi nel primo gruppo erano: TPL, COL, SPL, SPIL, HGL, PELL, ATL, DLL, LLL, GLL, GLAL; i caratteri del secondo gruppo erano: TVL, COAL, DPL, GIL, nonché tutti i caratteri relativi alla correttezza degli arti (AF1L, ..., PAL).

Sempre sul dataset destinato alla elaborazione dei dati (501 soggetti) è stata calcolata con la funzione GIORNO360 (Excel), poi trasformata in anni, l'età del cavallo alla valutazione; i valori ottenuti sono stati raggruppati, secondo un criterio seguito anche in altre circostanze, nelle seguenti 3 classi:

CLASSE 1 (GIOVANI): 2-4 anni;

CLASSE 2 (ADULTI): 5-15 anni;

CLASSE 3 (MATURI): > 15 anni.

In una prima elaborazione dei dati sono state calcolate le frequenze delle diverse classi per tutti i caratteri valutati linearmente e sono stati stimati i principali parametri di inferenza statistica (media e deviazione standard) delle misure biometriche. Visto l'elevato numero di variabili lineari e, conseguentemente, la difficoltà, anche interpretativa, di ottenere per ognuna di queste, indici BLUP-AM da sintetizzare in un unico "Breeding Value" dell'animale, è sembrato opportuno procedere ad un'analisi fattoriale (PROC FACTOR, SAS) che sintetizzasse le variabili in pochi, ma molto informativi, fattori da utilizzare per la costruzione di un indice BLUP-AM-MT.

In una prima analisi fattoriale sono stati considerati i soli caratteri espressi su scala lineare, mentre in un secondo step a questi sono state unite le 4 misure biometriche routinariamente utilizzate per il calcolo degli indici BLUP-AM-MT del Maremmano.

Per la scelta delle variabili da inserire nell'analisi fattoriale ci si è basati sull'indice di Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) che confronta la grandezza delle correlazioni totali rispetto alle correlazioni parziali tenendo conto che un valore > 0,9 è eccellente, fra 0,80 e 0,90 è buono, fra 0,70 e 0,80 accettabile, fra 0,60 e 0,70 mediocre.

Per interpretare più facilmente i pesi fattoriali è stata effettuata una rotazione degli assi fattoriali con il metodo VARIMAX che minimizza il numero di variabili che hanno correlazioni alte con un fattore: le variabili, cioè, vengono suddivise in gruppi, in modo tale che i pesi all'interno di ciascun gruppo siano elevati su un singolo fattore e bassi o trascurabili sugli altri. Il numero di fattori da estrarre è stato fissato pari a tre.

Il modello misto utilizzato per la stima degli indici genetici ottenuti sui tre fattori, teneva conto dei seguenti effetti fissi: sesso, esperto, BCS ed età alla valutazione in classi.

Il Breeding Value di ogni cavallo (BVC) veniva quindi calcolato sommando gli indici genetici dei singoli fattori ponderati per dei coefficienti che tenevano conto degli intenti selettivi della razza:

$$BVC = (c1 * \text{Fattore 1}) + (c2 * \text{Fattore 2}) + (c3 * \text{Fattore 3})$$

Al fine di avere indicazioni sull'applicabilità operativa degli indici ottenuti sono state effettuate, con il software R, delle rank correlation (correlazioni di Spearman) tra la classifica dei cavalli in relazione al BVC di valutazione lineare, agli indici BLUP-AM-MT stimati sulle quattro misure biometriche e al punteggio finale di valutazione morfologica che viene assegnato ad ogni cavallo da giudici nominati da ANAM.

Gli indici BLUP-AM-MT relativi alle misure biometriche e al punteggio morfologico dei cavalli presenti nel campione sono già disponibili.

Nelle tabelle 1, 2 e 3 sono riportate le frequenze relative alle classi di valutazioni lineare rispettivamente dei caratteri di correttezza zoognostica, prestazioni ed arti.

In particolare, in tabella 1 si osserva che, come atteso, le frequenze si distribuiscono secondo una distribuzione unimodale, in cui la classe centrale è quasi sempre la più numerosa. In particolare ciò si evidenzia in DPL (64%), TPL (48%), COAL (44%), unica eccezione è rappresentata da SPIL in cui la classe H comprende solo il 15% delle osservazioni e la classe più abbondante è la F (23%). Le classi estreme (A, B, P, Q) hanno quasi sempre frequenze pari a zero e le altre presentano frequenze sempre più abbondanti man mano che ci si avvicina a quella centrale.

Tabella 1 – Frequenze relative (%) delle classi di valutazione lineare relative ai caratteri di correttezza zoognostica

Caratteri	Frequenze relative (%)															TOTALE
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	L	M	N	O	P	Q	
TPL	0	0	0	1	2	3	8	48	15	15	8	2	1	0	0	100
TVL	0	0	1	2	5	11	10	35	11	18	6	2	0	0	0	100
COAL	0	0	0	1	4	9	12	44	6	11	8	3	2	0	0	100
SPIL	0	0	2	4	14	23	13	15	8	14	6	1	0	0	0	100
HGL	0	0	1	1	2	7	6	23	11	22	17	6	4	1	0	100
DPL	0	0	1	2	3	8	12	64	6	3	1	0	0	0	0	100
GIL	0	0	0	1	4	6	5	26	14	22	16	4	2	0	0	100

L'andamento sopra descritto appare meno evidente nei caratteri di "prestazione" che si riferiscono, per lo più, alla dimensione dell'animale, riportati in Tabella 2. In questo caso, infatti, spesso la classe centrale non risulta la più frequente (SPLL, PELL, ATL, LLL) ed i valori più elevati si riscontrano in classi che rappresentano dimensioni maggiori a quelle della classe centrale; tale situazione potrebbe derivare dalle scelte selettive che tendono ad aumentare la taglia del cavallo.

Tabella 2 – Frequenze relative (%) delle classi di valutazione lineare relative ai caratteri di prestazione:

Caratteri	Frequenze relative (%)															TOTALE
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	L	M	N	O	P	Q	
COL	0	0	0	2	7	17	13	25	8	16	9	2	0	0	0	100
SPLL	0	0	0	1	1	4	3	17	11	27	24	8	3	0	0	100
PELL	0	0	1	3	5	9	8	19	8	22	16	5	4	1	0	100
ATL	0	0	0	1	2	5	6	19	13	22	20	7	5	1	0	100
DLL	0	0	0	1	1	4	5	44	16	17	9	2	1	1	0	100
LLL	0	0	0	0	2	5	7	21	21	26	13	4	2	1	0	100
GLL	0	0	1	1	7	7	12	33	11	16	9	1	1	0	0	100
GLAL	0	0	0	0	2	3	4	27	12	26	17	5	4	0	0	100

I valori riportati in Tabella 3 indicano una frequenza quasi sempre prossima a zero nelle prime e nelle ultime 3 classi, mentre la classe centrale risulta sempre assai rappresentata, con valori che, talora, superano l'80%. Tale situazione deriva dal tipo di carattere (correttezza degli arti) che esprime nella classe H i soggetti con arti corretti e attribuisce alle altre classi gli animali che presentano difetti sempre più gravi. I caratteri in cui gli animali con difetto sono risultati relativamente più abbondanti sono stati: AF1L, AF2L, PD1L, PD2L, PAL.

Tabella 3 – Frequenze relative (%) delle classi di valutazione lineare relative ai caratteri di correttezza degli arti

Caratteri	Frequenze relative (%)															TOTALE
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	L	M	N	O	P	Q	
AF1L	0	0	1	2	5	10	13	53	8	6	2	1	1	0	0	100
AF2L	0	0	1	1	5	9	8	44	10	11	7	2	1	1	0	100
AF3L	0	0	0	0	1	2	7	83	4	2	1	0	0	0	0	100
ALL	0	0	0	0	1	3	6	85	3	2	1	0	0	0	0	100
PD1L	0	0	1	2	9	18	16	40	9	4	1	0	0	0	0	100
PD2L	0	0	1	1	5	18	16	53	2	3	1	0	0	0	0	100
PD3L	0	0	0	0	1	2	9	81	4	2	1	0	0	0	0	100
PLL	0	0	1	1	2	5	10	57	11	9	4	1	0	0	0	100
PAL	0	0	1	2	7	16	14	44	7	7	2	0	0	0	0	100

Dalla Tabella 4, in cui si riportano le medie e relative deviazioni standard delle misure rilevate, si apprezzano le buone dimensioni dei cavalli presenti nel campione. L'altezza al garrese, pari a circa 166 cm, si armonizza con una evidente circonferenza toracica (194,1 cm); la circonferenza dello stinco (20,8 cm) denuncia una certa solidità e la lunghezza della spalla, prossima a 70 cm, evidenzia una buona attitudine al salto. Le deviazioni standard stimate testimoniano la omogeneità del campione; i relativi coefficienti di variazione, infatti, sono piuttosto contenuti, variando dal 2,7% (HG) al 7,8% (SPA).

Tabella 4 – Media e
delle misure

Caratteri	Media±ds	CV
	(cm)	%
HG	164,31±4,44	2,70
CT	194,11±12,52	6,45
STI	20,78±1,29	6,21
SPA	69,66±5,43	7,80

deviazione standard
biometriche

Come già affermato, al fine di riassumere le informazioni provenienti da tutti i caratteri di valutazione lineare in poche variabili, è stata effettuata un'analisi fattoriale che ha stimato i tre fattori riportati in Tabella 5. Il fattore 1 è ben correlato con le valutazioni lineari della larghezza del petto (0,75), dell'altezza del torace (0,80) e della larghezza della groppa (0,76); è stato per questo individuato come il fattore "*Dimensione del tronco*".

Il fattore 2 presenta correlazioni accettabili con anteriore fronte valgo (0,54) e posteriore dietro valgo (0,58) ed è stato quindi definito fattore "*Arti*". Il fattore 3 ha mostrato correlazioni medio alte con le valutazioni lineari dell'allineamento del collo (-0,67), della lunghezza del dorso (0,60) e della lunghezza dei lombi (0,78) ed è stato definito "*Lunghezza*". L'indice di KMO relativo all'analisi è risultato pari a 0,64, quindi mediocre, anche la quota di varianza spiegata dai tre fattori è stata solo del 32%.

Tabella 5 – Primo modello fattoriale ruotato (Varimax)

Caratteri	FATTORE 1	FATTORE 2	FATTORE 3
	Dimensione tronco	Arti	Lunghezza
PEL	0,75	0,03	-0,12
ATL	0,80	-0,08	-0,06
GLAL	0,76	-0,06	0,01
AF3L	0,09	0,54	0,14
PD2L	-0,01	0,58	-0,20
COAL	-0,04	-0,11	-0,67
DLL	-0,00	-0,24	0,60
LLL	-0,03	0,06	0,78
KMO	0,64		
VARIANZA SPIEGATA DAI 3 FATTORI	32%		

Poiché i 3 fattori andrebbero utilizzati nei processi selettivi della razza, è sembrato opportuno valutarne l'ereditabilità. Come si osserva in Tabella 6, i primi due presentano valori medi di h^2 pari, rispettivamente, a 0,31 e 0,36, mentre bassa è quella del terzo (0,14); tali coefficienti sono, comunque, simili a quelli di altri caratteri di interesse zootecnico oggetto di selezione. Inaspettato è il valore di h^2 del secondo fattore legato a caratteri notoriamente difficilmente assimilabili a misure quantitative. Questi fattori sono stati impiegati per la stima di 3 indici BLUP-AM che venivano opportunamente ponderati per dei coefficienti e quindi sommati per ottenere un valore genetico additivo totale di ogni singolo cavallo (BVC1). I coefficienti di ponderazione sono stati scelti dopo consultazione con i responsabili operativi della gestione del Maremmano e sono stati fissati pari a: 0,4 per il fattore 1 e 0,3 per i fattori 2 e 3. Le rank correlation (correlazioni tra ranghi di Spearman) (tabella 7) stimate per l'indice ottenuto e quelli BLUP-AM-MT calcolati sulle misure

biometriche che definiscono la morfologia (HG, CT, SPA, STI) sono risultate significativamente basse oscillando fra 0,16 (BVC1-STI) e 0,20 (BVC1-CT); va peraltro osservato che gli indici biometrici sono fra loro ben correlati con valori che variano da 0,65 (HG-STI) a 0,85 (HG-SPA).

Tabella 6 – Coefficienti di ereditabilità dei tre fattori

	FATTORE 1	FATTORE 2	FATTORE 3
	<i>Dimensione tronco</i>	<i>Arti</i>	<i>Lunghezza</i>
h²	0,31	0,39	0,14

Una riflessione particolare va fatta relativamente alle correlazioni tra gli indici BLUP sopra considerati e l'indice del punteggio morfologico; come si osserva in Tabella 7, le correlazioni con gli indici delle misure biometriche sono molto contenute essendo comprese tra 0,10 (PTI-SPA) e 0,17 (PTI-HG); particolarmente bassa e non significativa (0,06) risulta, inoltre, quella con l'indice di valutazione lineare BVC1. Tale situazione porrebbe seri imbarazzi operativi al selezionatore che non avrebbe univoci parametri di scelta dei riproduttori; per superare questa difficoltà si è proceduto alla stima di un secondo indice BLUP-AM-MT che tenesse conto sia delle valutazioni lineari che delle misure biometriche.

Tabella 7 – Correlazione di Spearman tra gli indici BLUP-AM-MT stimati

INDICI BLUP-AM-MT					
	BVC1	HG	CT	SPA	STI
HG	0,16***	-	-	-	-
CT	0,20***	0,78***	-	-	-
SPA	0,19***	0,85***	0,83***	-	-
STI	0,16**	0,65***	0,70***	0,61***	-
PTI	-0,02	0,17**	0,16**	0,10*	0,06

P≤0,05*; P≤0,01**; P≤0,0001***

Il dataset è stato quindi sottoposto ad una nuova analisi fattoriale che considerava tutte le variabili presenti nel prospetto 1. Come si osserva in Tabella 8, il primo fattore, analogamente a quanto

evidenziato dall'analisi precedente (tabella 5), rappresenta sempre le dimensioni, ma in questo caso, oltre ad essere correlato ad alcune misure lineari (PELL, SPL, ATL, GLAL), risulta correlato anche alle misure biometriche (HG, CT, STI, SPA) con valori compresi tra 0,46 e 0,63. Anche per il secondo fattore, con coefficienti prossimi a 0,5, si sottolinea l'analogia con la precedente analisi; questo, infatti, interpreta la correttezza degli arti (AF3L, ALL, PD2L, PLL).

Il terzo fattore, infine, si associa, come visto in precedenza, ai caratteri che definiscono la lunghezza dell'animale; in questo caso va sottolineato il valore negativo (-0,67) della variabile COAL, mentre per gli altri due caratteri i valori sono stati 0,52 (DLL) e 0,75 (LLL). L'indice di KMO relativo all'analisi è risultato pari a 0,66 e quindi sempre mediocre, ma leggermente superiore al precedente, mentre la quota di varianza spiegata dai primi tre fattori è scesa al 21%.

Tabella 8 – Secondo modello fattoriale ruotato (Varimax)

Caratteri	FATTORE 1	FATTORE 2	FATTORE 3
	<i>Dimensione tronco</i>	<i>Arti</i>	<i>Lunghezza</i>
HG	0,46	0,04	0,14
CT	0,63	0,09	0,09
STI	0,54	-0,04	0,03
SPA	0,61	-0,08	0,01
PELL	0,56	0,01	-0,24
SPL	0,61	0,11	0,29
ATL	0,65	-0,09	-0,16
GLAL	0,58	-0,07	-0,11
AF3L	-0,04	0,51	0,11
ALL	-0,07	0,51	-0,04
PD2L	-0,06	0,57	-0,19
PLL	0,14	0,51	-0,04
COAL	-0,04	-0,09	-0,67

DLL	-0,06	-0,31	0,52
LLL	-0,09	0,02	0,75
KMO	0,66		
VARIANZA SPIEGATA DAI 3 FATTORI	21%		

I nuovi coefficienti di ereditabilità (Tabella 9) per il fattore 1 e 3 sono saliti rispettivamente a 0,57 e 0,41, mentre quello del fattore 2 (legato alle variabili della correttezza degli arti) è, come atteso, sceso a 0,05 facendo rilevare, come già noto in altre specie, la difficoltà di lavorare “geneticamente” su misure non metriche, ma di correttezza morfologica.

Tabella 9 – Coefficienti di ereditabilità dei tre fattori della seconda analisi fattoriale

	FATTORE 1	FATTORE 2	FATTORE 3
	<i>Dimensione tronco</i>	<i>Arti</i>	<i>Lunghezza</i>
h²	0,57	0,05	0,41

Le correlazioni del nuovo indice BVC2 (tabella 10) con gli indici delle misure biometriche sono migliorate risultando comprese tra 0,41 (BVC2-HG) e 0,20 (BVC2-CT); più elevata, ma sempre bassa e non significativa (0,12), risulta quella con il punteggio totale (PTI).

Tabella 10 – Correlazione di Spearman tra gli indici BLUP-AM-MT stimati

INDICI BLUP-AM-MT	BVC2	HG	CT	SPA	STI
HG	0,41***	-	-	-	-
CT	0,20***	0,78***	-	-	-
SPA	0,40***	0,85***	0,82***	-	-
STI	0,32***	0,65***	0,70***	0,61***	-
PTI	0,12	0,1**	0,16**	0,10*	0,06

P≤0,05*; P≤0,01**; P≤0,0001***

Quanto sopra incoraggia a considerare un indice su caratteri (Fattori) che derivano da tutte le variabili considerate nella scheda di valutazione morfologica del cavallo Maremmano. È evidente che questo primo approccio, basato su un limitato numero di osservazioni, dovrebbe essere opportunamente validato su un campione più numeroso e significativo.

CONCLUSIONI

Oggi, nonostante la diffusione su larga scala di tecniche di valutazione genetica, la morfologia ha mantenuto la sua importanza, poiché diversi caratteri oggetto di rilevazione hanno un rilevante impatto sui diversi obiettivi di selezione.

Una valutazione appropriata del cavallo Maremmano a livello morfologico-lineare rappresenta una delle fasi cruciali nello sviluppo di strategie e piani di miglioramento genetico che rispondano alle attuali esigenze di mercato siano esse lo sport o la monta da lavoro.

Attraverso la stima di un indice genetico BLUP-AM-MT i risultati ottenuti potranno essere utilizzati per ridefinire meglio l'attuale rilevamento dei dati morfologico-lineari nella razza Maremmana che si sono dimostrati alla base di una "selezione genetica indiretta" per molti caratteri. Questo permetterà di poter disporre di uno strumento di selezione che sempre con maggior precisione potrà essere utilizzato dagli allevatori nella scelta dei riproduttori più idonei all'obiettivo scelto.

Tuttavia la bassa accuratezza della stima dell'indice genetico morfologico-lineare, dovuta alla ridotta disponibilità di dati e alla variabilità delle rilevazioni non consente l'utilizzo immediato di questo strumento. Proseguire in questa direzione aumentando il numero di rilievi e preparando adeguatamente l'esperto rilevatore consentirebbe di migliorare l'accuratezza della stima in maniera adeguata.

Il Direttore


Prof. Maurizio Silvestrelli

