

## DISTANZA GENETICA E MESCOLAMENTO

Le distanze genetiche tra popolazioni si riferiscono alla misura della differenza genetica tra individui o gruppi all'interno di una stessa specie. Nel nostro caso, popolazioni equine, utilizziamo le razze come raggruppamenti omogenei per calcolare le suddette distanze. La stima della distanza è tanto più precisa quanto maggiori sono le informazioni (in questo caso, le varianti).

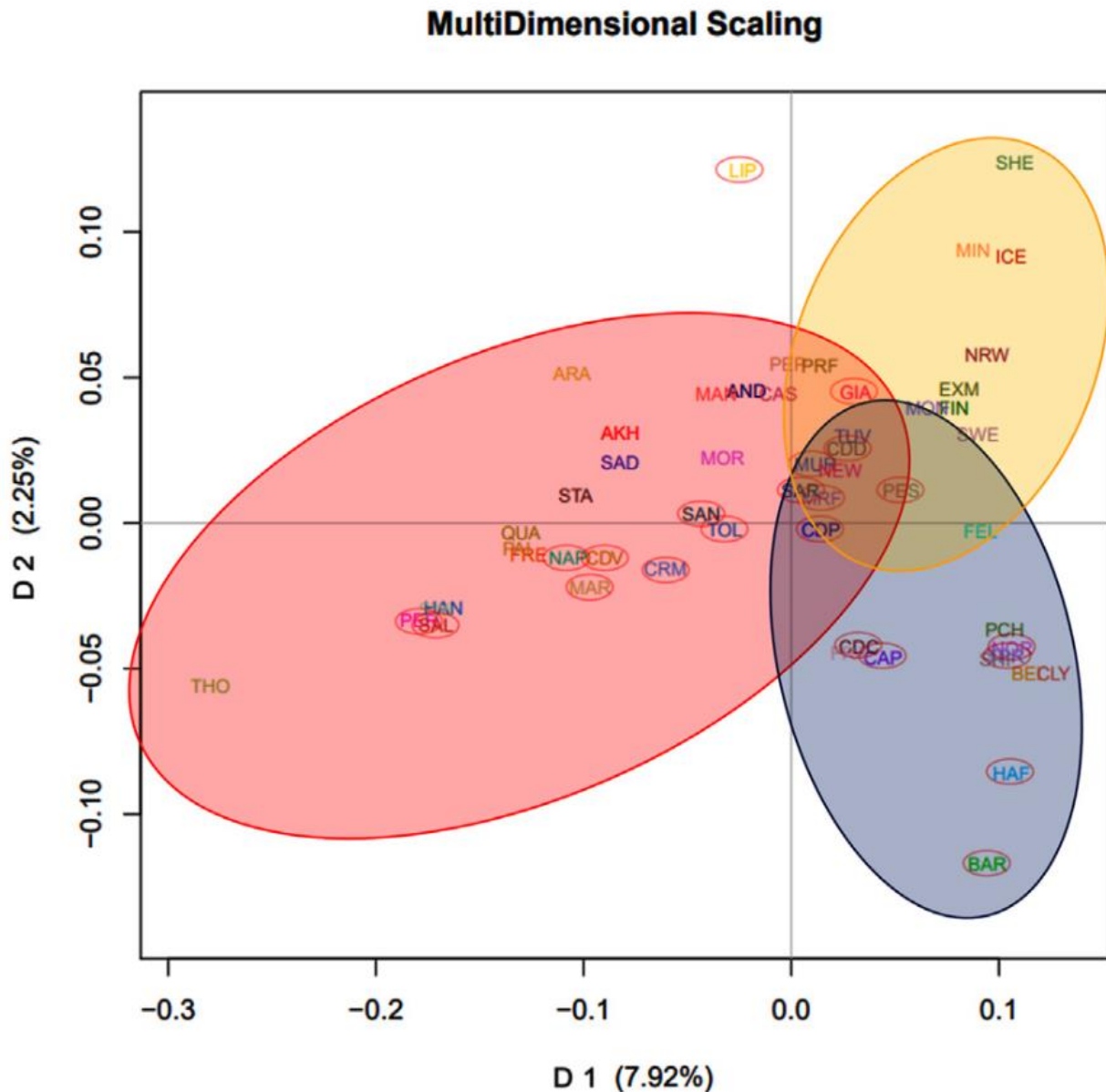
Per il calcolo delle distanze genetiche ( $F_{ST}$  e  $D$ ) sono stati utilizzati tutte le genotipizzazioni disponibili per le razze italiane e cosmopolite.

Le distanze genetiche tra le razze italiane e cosmopolite con particolare focus su Noriker e Haflinger sono state calcolate attraverso uno script in python disponibile all'unità di ricerca.

Nella Figura 1 sono riportati tutti i valori di  $F_{ST}$  e  $D$  (Distanza di Reynolds) per i confronti a coppie tra popolazioni.

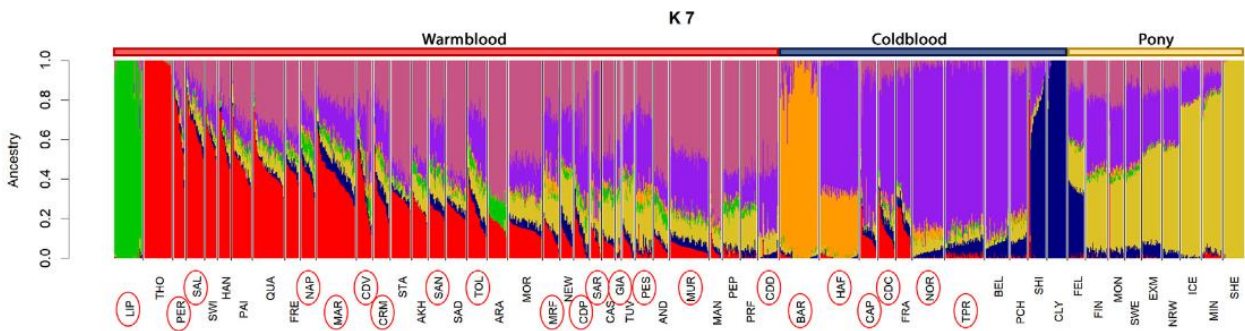
AKH	AND	ARA	BAR	BEL	CAP	CAS	CDC	CCD	CDP	CLV	CLY	CRM	DEM	FEL	FIN	FRA	FRE	GA	<b>HAF</b>	HAN	ICE	LIP	MAN	MAR	MIN	MON	MOR	MRF	MUR	NAP	NEW	<b>NOR</b>	NRW	PNH	PEP	PER	PES	PRF	CLA	SAD	SAL	SAN	SAR	SH	SHI	STA	SVE	SM	THO	TOL	TRR	TUV						
AKH	0.00	0.06	0.05	0.07	0.07	0.07	0.05	0.06	0.06	0.06	0.07	0.07	0.05	0.07	0.08	0.08	0.07	0.07	0.07	0.05	0.07	0.08	0.09	0.03	0.06	0.05	0.04	0.07	0.05	0.07	0.08	0.04	0.06	0.07	0.05	0.06	0.05	0.07	0.03	0.06	0.06	0.05	0.07	0.08	0.07	0.07	0.08	0.05	0.06	0.04	0.05	0.04	AKH					
AND	0.05	0.00	0.06	0.06	0.06	0.06	0.05	0.05	0.08	0.05	0.04	0.10	0.04	0.09	0.07	0.05	0.06	0.06	0.07	0.06	0.05	0.07	0.07	0.08	0.03	0.06	0.04	0.04	0.07	0.04	0.08	0.04	0.06	0.08	0.05	0.08	0.08	0.04	0.07	0.05	0.06	0.06	0.07	0.04	0.06	0.07	0.05	0.06	0.10	0.08	0.07	0.08	0.05	0.07	0.04	0.07	0.05	AND
ARA	0.05	0.05	0.00	0.08	0.08	0.07	0.05	0.06	0.09	0.06	0.04	0.12	0.05	0.10	0.08	0.07	0.07	0.06	0.07	0.06	0.05	0.08	0.08	0.09	0.04	0.07	0.06	0.04	0.07	0.06	0.08	0.05	0.08	0.08	0.04	0.07	0.05	0.06	0.07	0.04	0.06	0.07	0.05	0.06	0.10	0.08	0.07	0.08	0.05	0.07	0.04	0.07	0.05	ARA				
BAR	0.07	0.06	0.08	0.00	0.06	0.06	0.06	0.05	0.08	0.06	0.06	0.09	0.06	0.08	0.06	0.05	0.06	0.08	0.05	0.05	0.07	0.07	0.10	0.08	0.06	0.06	0.05	0.06	0.06	0.07	0.06	0.09	0.05	0.06	0.06	0.07	0.05	0.06	0.08	0.08	0.05	0.07	0.07	0.08	0.09	0.06	0.06	0.08	0.06	0.09	0.06	0.07	0.11	0.05	0.05	0.04	BAR	
BEL	0.07	0.06	0.08	0.05	0.00	0.05	0.05	0.05	0.08	0.05	0.06	0.08	0.05	0.08	0.06	0.04	0.05	0.08	0.06	0.05	0.07	0.06	0.09	0.09	0.05	0.05	0.04	0.05	0.06	0.05	0.09	0.04	0.05	0.06	0.06	0.04	0.06	0.09	0.04	0.07	0.06	0.07	0.09	0.06	0.06	0.07	0.05	0.08	0.06	0.07	0.11	0.04	0.03	0.04	BEL			
CAP	0.06	0.06	0.07	0.06	0.05	0.00	0.06	0.04	0.08	0.06	0.06	0.09	0.05	0.09	0.06	0.05	0.03	0.07	0.07	0.05	0.06	0.07	0.09	0.10	0.04	0.06	0.05	0.04	0.07	0.05	0.09	0.05	0.05	0.07	0.05	0.05	0.06	0.08	0.05	0.07	0.08	0.05	0.05	0.08	0.06	0.08	0.07	0.06	0.09	0.04	0.04	0.04	CAP					
CAS	0.05	0.05	0.05	0.05	0.06	0.06	0.00	0.05	0.07	0.05	0.04	0.10	0.04	0.09	0.06	0.04	0.05	0.07	0.07	0.05	0.05	0.06	0.07	0.09	0.03	0.05	0.04	0.03	0.06	0.04	0.08	0.04	0.05	0.07	0.04	0.05	0.04	0.07	0.04	0.06	0.03	0.03	0.05	0.06	0.05	0.06	0.10	0.08	0.07	0.07	0.05	0.07	0.03	0.04	CAS			
CCD	0.06	0.05	0.06	0.05	0.05	0.04	0.00	0.07	0.07	0.06	0.04	0.09	0.04	0.08	0.06	0.04	0.03	0.06	0.06	0.05	0.05	0.06	0.08	0.09	0.03	0.05	0.04	0.04	0.06	0.04	0.08	0.04	0.05	0.06	0.04	0.05	0.07	0.04	0.06	0.04	0.05	0.05	0.07	0.05	0.05	0.07	0.06	0.06	0.08	0.11	0.05	0.06	0.06	CCD				
CDP	0.06	0.05	0.06	0.05	0.05	0.05	0.05	0.07	0.07	0.07	0.07	0.10	0.04	0.09	0.06	0.05	0.05	0.07	0.08	0.09	0.08	0.08	0.09	0.10	0.03	0.05	0.04	0.04	0.06	0.04	0.09	0.04	0.05	0.07	0.04	0.05	0.05	0.08	0.04	0.06	0.04	0.06	0.07	0.05	0.07	0.08	0.06	0.07	0.06	0.08	0.11	0.05	0.06	0.06	CDP			
CLV	0.04	0.04	0.04	0.06	0.06	0.05	0.04	0.04	0.07	0.05	0.04	0.10	0.03	0.09	0.06	0.05	0.04	0.04	0.06	0.06	0.03	0.07	0.07	0.08	0.02	0.05	0.04	0.03	0.06	0.04	0.08	0.03	0.06	0.07	0.02	0.05	0.04	0.05	0.04	0.06	0.02	0.04	0.04	0.05	0.08	0.06	0.05	0.07	0.03	0.05	0.02	0.04	CLV					
CLY	0.11	0.10	0.11	0.08	0.08	0.09	0.10	0.09	0.11	0.09	0.09	0.09	0.09	0.12	0.07	0.08	0.09	0.12	0.11	0.08	0.12	0.10	0.12	0.14	0.07	0.09	0.08	0.08	0.11	0.08	0.14	0.08	0.08	0.10	0.10	0.08	0.10	0.13	0.09	0.10	0.09	0.11	0.12	0.10	0.11	0.11	0.03	0.12	0.10	0.12	0.14	0.08	0.07	0.08	CLY			
CRM	0.04	0.04	0.05	0.05	0.05	0.05	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.08	0.00	0.08	0.05	0.04	0.04	0.05	0.05	0.05	0.03	0.06	0.07	0.06	0.02	0.05	0.03	0.03	0.05	0.03	0.05	0.03	0.05	0.06	0.02	0.05	0.04	0.05	0.04	0.05	0.04	0.05	0.02	0.05	0.05	0.03	0.05	0.07	0.05	0.05	0.06	0.03	0.05	0.02	0.04	CRM		
DEM	0.09	0.09	0.10	0.08	0.08	0.08	0.08	0.10	0.08	0.08	0.11	0.08	0.08	0.09	0.07	0.09	0.11	0.10	0.08	0.10	0.11	0.13	0.07	0.08	0.07	0.07	0.07	0.10	0.12	0.07	0.09	0.08	0.08	0.08	0.12	0.07	0.09	0.07	0.10	0.11	0.09	0.09	0.10	0.09	0.11	0.09	0.10	0.12	0.07	0.06	0.07	0.06	DEM					
FEL	0.07	0.07	0.08	0.06	0.05	0.06	0.06	0.05	0.08	0.06	0.06	0.07	0.05	0.08	0.00	0.05	0.06	0.08	0.08	0.06	0.08	0.10	0.10	0.05	0.05	0.05	0.05	0.07	0.05	0.10	0.05	0.05	0.05	0.07	0.05	0.10	0.05	0.05	0.06	0.05	0.06	0.09	0.09	0.08	0.08	0.10	0.05	0.04	0.05	0.05	FEL							
FIN	0.05	0.05	0.06	0.05	0.04	0.04	0.04	0.06	0.04	0.04	0.08	0.04	0.07	0.05	0.00	0.05	0.07	0.05	0.05	0.06	0.04	0.08	0.04	0.04	0.04	0.03	0.04	0.04	0.05	0.04	0.07	0.03	0.04	0.05	0.05	0.04	0.04	0.07	0.03	0.05	0.04	0.04	0.07	0.03	0.05	0.04	0.05	0.06	0.05	0.06	0.09	0.03	0.03	0.03	FIN			
FRA	0.06	0.06	0.07	0.05	0.05	0.03	0.05	0.03	0.07	0.05	0.04	0.08	0.04	0.06	0.04	0.00	0.07	0.07	0.05	0.06	0.06	0.08	0.09	0.04	0.05	0.04	0.04	0.05	0.04	0.07	0.04	0.08	0.04	0.05	0.07	0.05	0.05	0.05	0.07	0.05	0.05	0.06	0.06	0.07	0.06	0.08	0.04	0.04	0.04	0.04	FRA							
FRE	0.06	0.06	0.06	0.07	0.08	0.07	0.06	0.06	0.09	0.07	0.04	0.11	0.04	0.10	0.08	0.06	0.07	0.00	0.08	0.05	0.09	0.09	0.10	0.03	0.07	0.06	0.04	0.08	0.05	0.08	0.06	0.08	0.09	0.09	0.04	0.08	0.06	0.07	0.06	0.08	0.03	0.06	0.06	0.06	0.08	0.10	0.08	0.05	0.09	0.04	0.06	0.04	0.06	FRE				
GA	0.07	0.07	0.06	0.05	0.06	0.07	0.06	0.08	0.08	0.06	0.11	0.05	0.09	0.07	0.05	0.07	0.08	0.00	0.05	0.08	0.07	0.08	0.12	0.03	0.06	0.05	0.04	0.08	0.04	0.10	0.06	0.05	0.08	0.05	0.07	0.06	0.10	0.05	0.07	0.04	0.06	0.08	0.08	0.08	0.08	0.07	0.07	0.08	0.08	0.07	0.04	0.06	GA					
HAF	0.06	0.06	0.07	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.07	0.05	0.06	0.06	0.05	0.07	0.06	0.05	0.07	0.05	0.00	0.07	0.06	0.09	0.08	0.06	0.05	0.04	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	HAF					
HAN	0.05	0.05	0.05	0.07	0.07	0.06	0.05	0.05	0.08	0.06	0.03	0.13	0.03	0.10	0.07	0.06	0.06	0.05	0.07	0.07	0.00	0.08	0.08	0.09	0.02	0.07	0.05	0.03	0.07	0.04	0.07	0.05	0.07	0.08	0.02	0.07	0.05	0.04	0.05	0.07	0.02	0.05	0.04	0.04	0.07	0.09	0.07	0.06	0.08	0.02	0.03	0.03	0.05	HAN				
ICE	0.07	0.07	0.08	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.09	0.06	0.06	0.06	0.06	0.08	0.06	0.04	0.06	0.08	0.07	0.06	0.08	0.00	0.09	0.10	0.05	0.04	0.04	0.05	0.07	0.05	0.10	0.05	0.06	0.06	0.07	0.06	0.10	0.05	0.07	0.06	0.08	0.09	0.06	0.07	0.05	0.07	0.09	0.06	0.08	0.11	0.05	0.05	0.04	ICE				
LIP	0.08	0.08	0.08	0.09	0.08	0.08	0.07	0.08	0.10	0.07	0.07	0.12	0.07	0.11	0.09	0.07	0.08	0.09	0.07	0.09	0.08	0.09	0.00	0.11	0.07	0.08	0.07	0.07	0.09	0.07	0.10	0.07	0.09	0.09	0.08	0.08	0.10	0.07	0.09	0.07	0.09	0.10	0.08	0.08	0.10	0.09	0.10	0.09	0.08	0.11	0.07	0.08	0.07	LIP				
MAN	0.09	0.08	0.09	0.08	0.09	0.09	0.09	0.11	0.09	0.08	0.13	0.08	0.12	0.10	0.08	0.09	0.10	0.12	0.08	0.09	0.10	0.10	0.00	0.06	0.09	0.08	0.06	0.10	0.06	0.12	0.08	0.08	0.11	0.07	0.09	0.08	0.11	0.08	0.09	0.06	0.09	0.10	0.09	0.11	0.10	0.10	0.11	0.09	0.10	0.07	0.07	0.08	MAN					
MAR	0.03	0.03	0.04	0.06	0.05	0.04	0.03	0.03	0.0																																																	

Per apprezzare correttamente la diversità genetica riportiamo anche una figura dal lavoro di Capomaccio e collaboratori (Capomaccio et al. 2023) dove vengono mostrate anche le analisi di multi dimensional scaling (approccio molto simile alle analisi delle componenti principali, PCA), utili a evidenziare i cosiddetti cline di differenziazione genetica (gradienti) e di possibile mescolamento (admixture).



**Figura 2.** Grafico MDS delle coordinate della dimensione 1 (D1) e 2 (D2). Sono stati evidenziati tre gruppi: cavalli “warmblood”, cerchiati in rosso, cavalli “coldblood” cerchiati in blu e “pony”, cerchiati in giallo. Noriker (NOR) e Haflinger (HAF), sono nella parte cerchiata in blu. La popolazione Noriker è raggruppata correttamente con le popolazioni pesanti mentre Haflinger, pur essendo nello stesso cluster è nettamente distinta da quest’ultime.

Anche l'analisi di struttura, che evidenzia il mescolamento, rivela che Haflinger ha una componente genomica intermedia tra le razze sportive e quelle pesanti (Figura 3).  
Noriker è correttamente individuato come razza "coldblood".



**Figura 3.** Istogramma dell'analisi di mescolamento delle razze. Da Capomaccio et al 2023.

Capomaccio, Stefano, Michela Ablondi, Daniele Colombi, Cristina Sartori, Andrea Giontella, Katia Cappelli, Enrico Mancin, et al. 2023. «Exploring the Italian equine gene pool via high-throughput genotyping». *Frontiers in Genetics* 14.  
<https://www.frontiersin.org/journals/genetics/articles/10.3389/fgene.2023.1099896>.

Perugia, 15 febbraio 2024

Il Direttore  
*Maurizio Silvestrelli*  
Prof. Maurizio Silvestrelli

