
Università degli Studi di Padova – Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione
Corso di Laurea in Ingegneria Informatica

Relazione per la prova finale
***«Analisi di parametri fisiologici e di movimento per
il rilevamento di cybersickness in Realtà Virtuale»***

Relatore: Prof. Dott.ssa Sara Baldoni

Laureando: Alessandro Pavanello
Matricola n.: 2101787

Padova, 22/09/2026

LA REALTÀ VIRTUALE E LA SFIDA DELLA CYBERSICKNESS

CRESCITA ED ESPANSIONE DELLA REALTÀ VIRTUALE

- **Riduzione** dei **costi** hardware e **incremento** delle **prestazioni**.
- Diffusione nell'intrattenimento domestico e adozione in settori chiave (*medicina, formazione, ingegneria, architettura*).



IL LIMITE PRINCIPALE: LA CYBERSICKNESS (CS)

- Disturbo caratterizzato da nausea, vertigini, disorientamento e malessere generale.
- Insorgenza rapida che impedisce **sessioni di utilizzo prolungate**.



IMPATTO E SFIDA TECNOLOGICA

- Compromette l'esperienza utente e frena l'adozione su larga scala della tecnologia.
- **Obiettivo:** Necessità di soluzioni innovative a livello hardware e software per monitorare e mitigare il malessere in tempo reale.



OBIETTIVO DEL LAVORO

SCOPO PRINCIPALE

- Sviluppo e confronto di modelli di Machine Learning per il rilevamento dell'insorgenza della **Cybersickness (CS)** a partire da dati di letteratura.

DIRETTRICI DELLA RICERCA

- **Confronto tra Modelli:** Valutazione di tre differenti architetture di classificazione per identificare la soluzione più accurata e computazionalmente efficiente.
- **Impatto dei Segnali Fisiologici:** Analisi comparativa tra due regimi sperimentali:
 - *Configurazione Completa:* Inclusione di frequenza cardiaca (HR) e risposta galvanica (GSR).
 - *Configurazione Ridotta:* Esclusione delle feature fisiologiche (*approccio non invasivo*).

FINALITÀ APPLICATIVA

- Quantificare il reale valore aggiunto dei sensori biometrici.
- Progettare sistemi di monitoraggio in tempo reale efficaci, leggeri e adatti a contesti d'uso reali.

SETUP SPERIMENTALE E SCENARIO DI TEST

- **Partecipanti:** 36 soggetti monitorati in sessioni di 15 minuti.
- **Attività Dinamica:** Navigazione in camminata reale (*real walking*) all'interno di labirinti virtuali generati casualmente.
- **Multitasking Cognitivo:** Esecuzione simultanea di compiti per stimolare e misurare attenzione e memoria di lavoro (*digit span audio*).

DATI RACCOLTI

- **Cinematica & Sguardo:** Tracciamento del visore (HMD), orientamento della testa ed *eye-tracking*.
- **Segnali Fisiologici:** Frequenza cardiaca (HR) e risposta galvanica della pelle (GSR).
- **Metriche Soggettive:** Valutazione periodica di cybersickness (FMS), carico mentale e carico fisico.

MODELLI UTILIZZATI

- Modelli di *Deep Learning* (LSTM, GRU, MLP) con accuratezza del 95%, ma elevata complessità e minore interpretabilità.

PREPARAZIONE DATI

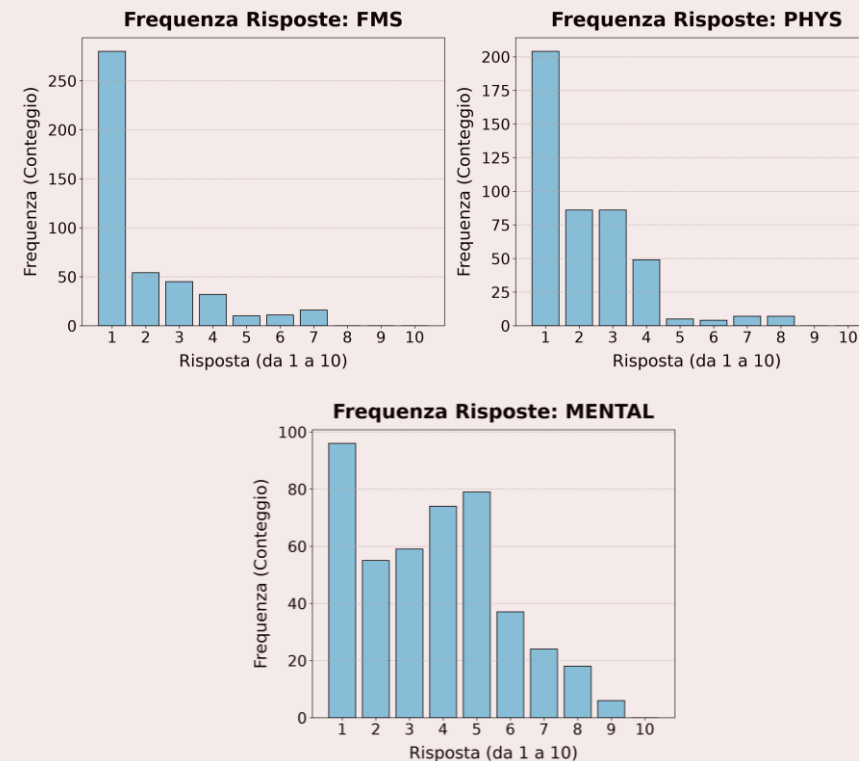
FINISTRATURA TEMPORALE

Dati raccolti a 1 Hz
aggregati in **finestre di 60 secondi**
(sincronizzazione con i
questionari)

Estrazione di **9**
descrittori statistici per
ogni parametro (*mean*,
min, *max*, *median*, *Q1*,
Q3, *var*, *skew*, *kurt*) per
catturare stabilità e
dinamica del movimento.

BINARIZZAZIONE DEI TARGET

- **Classe 0 (Benessere / Assenza sintomi):** Punteggio = 1
- **Classe 1 (Insorgenza / Presenza sintomi):** Punteggio > 1



RANDOMIZZAZIONE DELLE RIGHE PER ELIMINARE BIAS TEMPORALI

Creazione di due dataset

1. Dataset **Completo**
2. Dataset **Ridotto**
(senza parametri
fisiologici)

MODELLI DI CLASSIFICAZIONE

MODELLI SELEZIONATI

- **K-Nearest Neighbors (KNN):** Classificazione basata sulla vicinanza e voto di maggioranza nello spazio delle feature.
- **Support Vector Machine (SVM):** Massimizzazione del margine di separazione tra le classi tramite *kernel tricks* (lineare/RBF).
- **Random Forest (RF):** Modello *ensemble* basato su alberi di decisione con tecnica di *bagging*.

PIPELINE DI ADDESTRAMENTO E OTTIMIZZAZIONE

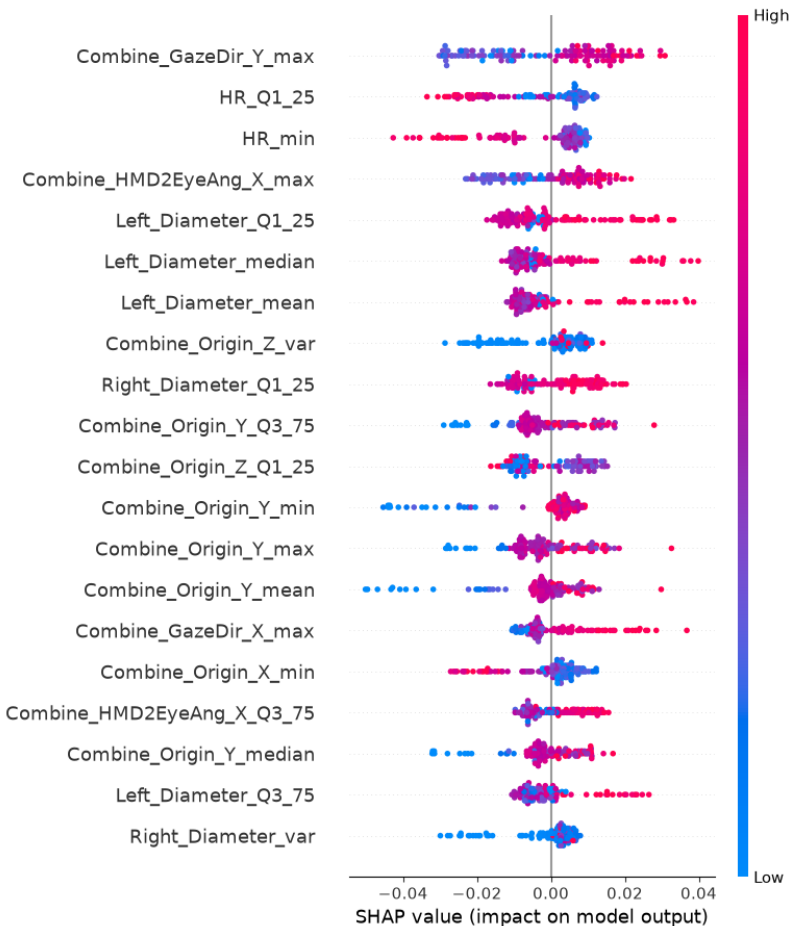
- **Partizione dei Dati:** Divisione in *Training Set* e *Test Set* per una valutazione non polarizzata.
- **Normalizzazione:** Applicazione di `StandardScaler` per uniformare le diverse scale delle feature.
- **Tuning Iperparametri:** Ottimizzazione tramite `RandomizedSearchCV`

INTERPRETABILITÀ TRAMITE FRAMEWORK SHAP

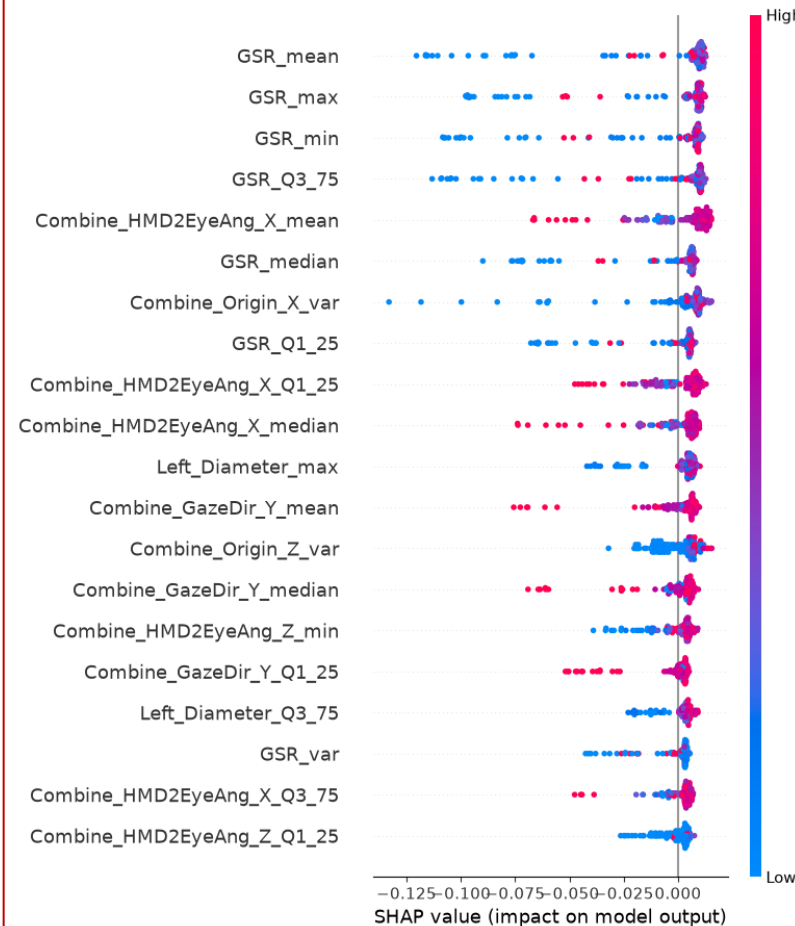
- Utilizzo di **SHAP (*TreeExplainer*)** applicato a Random Forest.
- Analisi dell'importanza relativa delle feature per identificare i parametri dominanti e valutare il contributo reale dei segnali fisiologici.

GRAFICI SHAP CON CONFIGURAZIONE COMPLETA

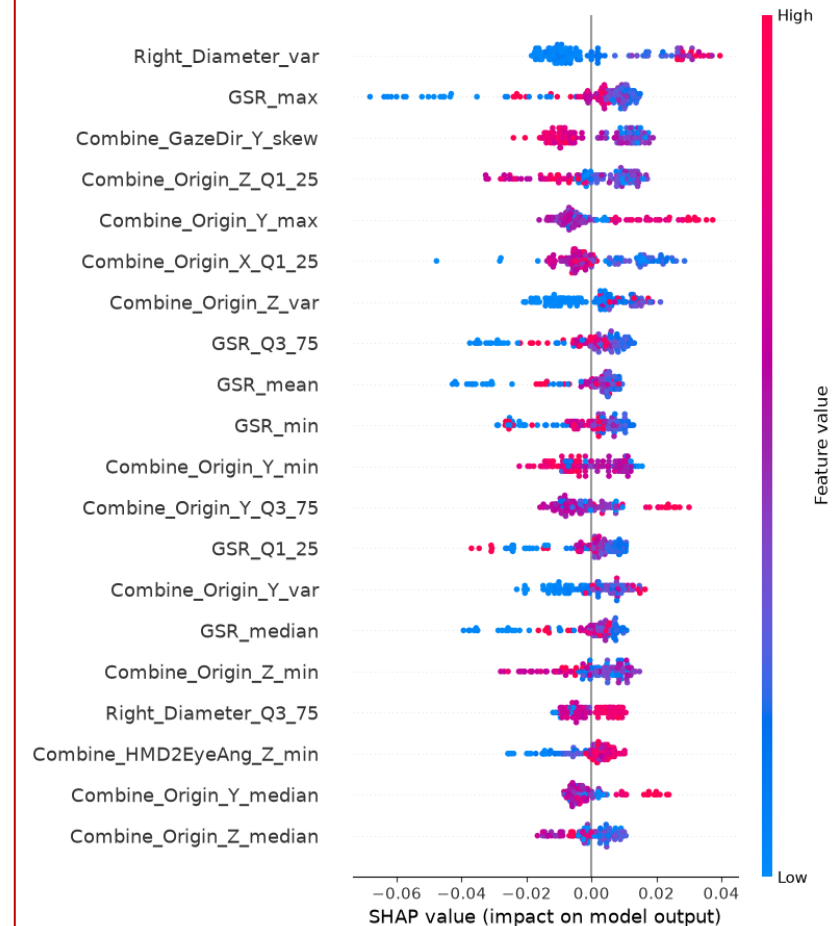
Impatto dei parametri (SHAP) - FMS



Impatto dei parametri (SHAP) - MENTAL



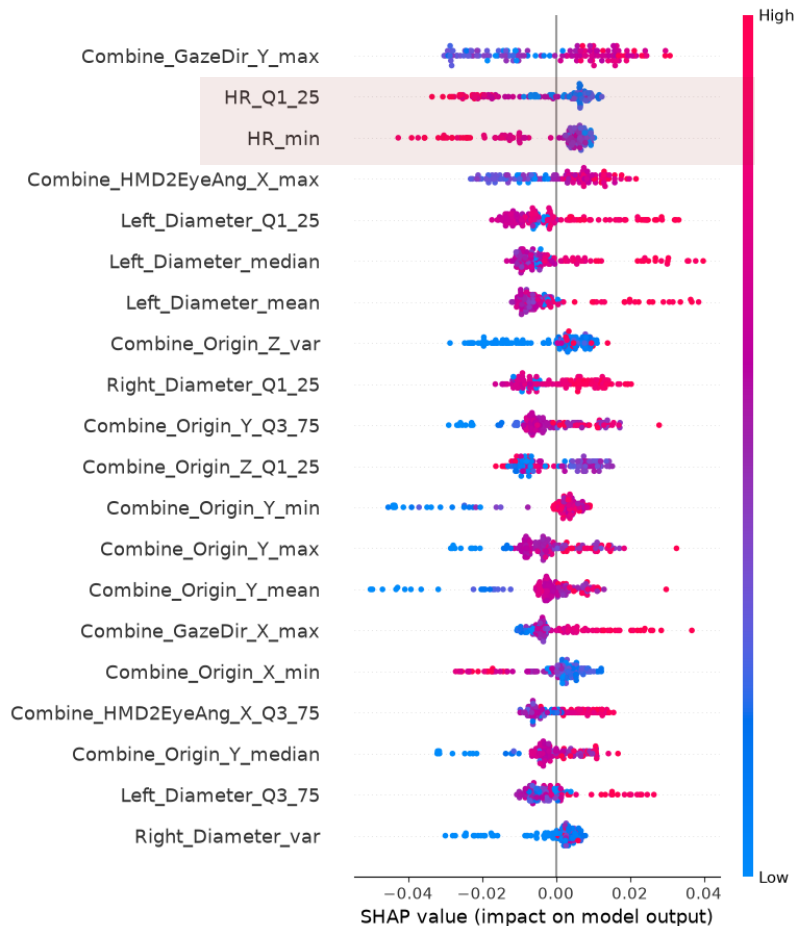
Impatto dei parametri (SHAP) - PHYS



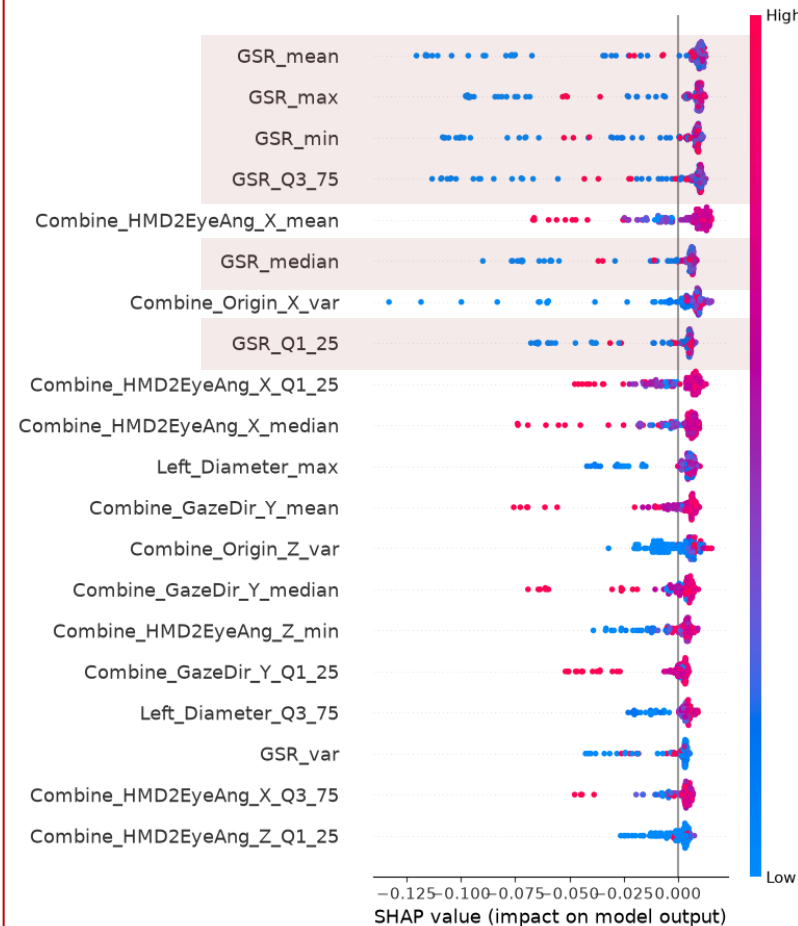
ANALISI SHAP

GRAFICI SHAP CON CONFIGURAZIONE COMPLETA

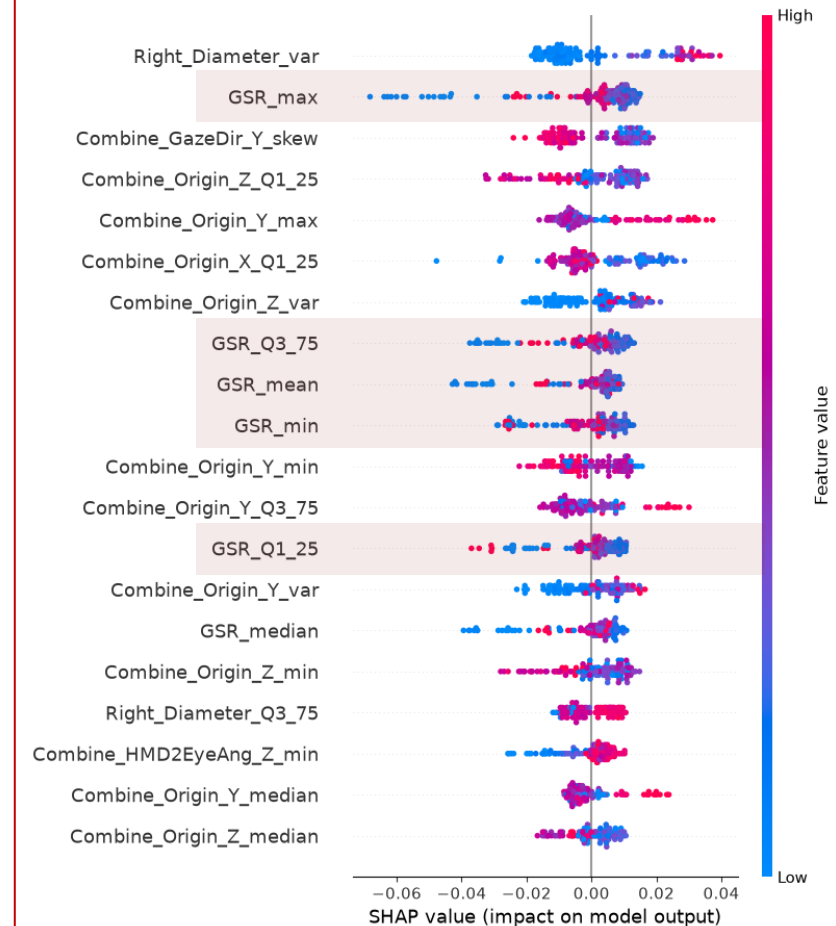
Impatto dei parametri (SHAP) - FMS



Impatto dei parametri (SHAP) - MENTAL



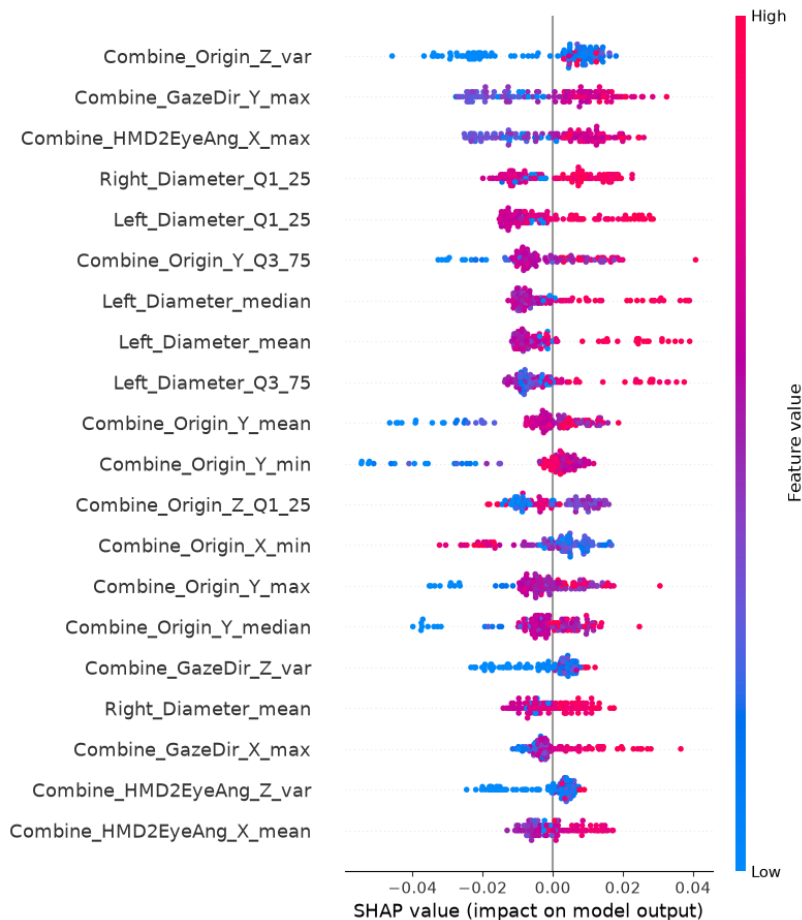
Impatto dei parametri (SHAP) - PHYS



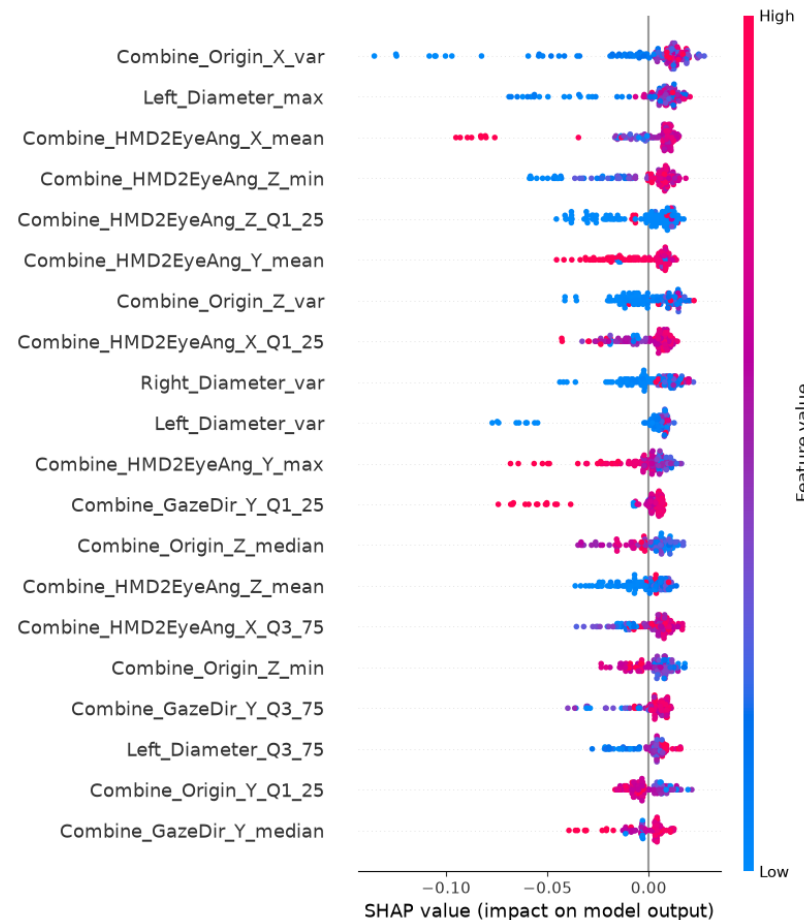
ANALISI SHAP

GRAFICI SHAP CON CONFIGURAZIONE RIDOTTA

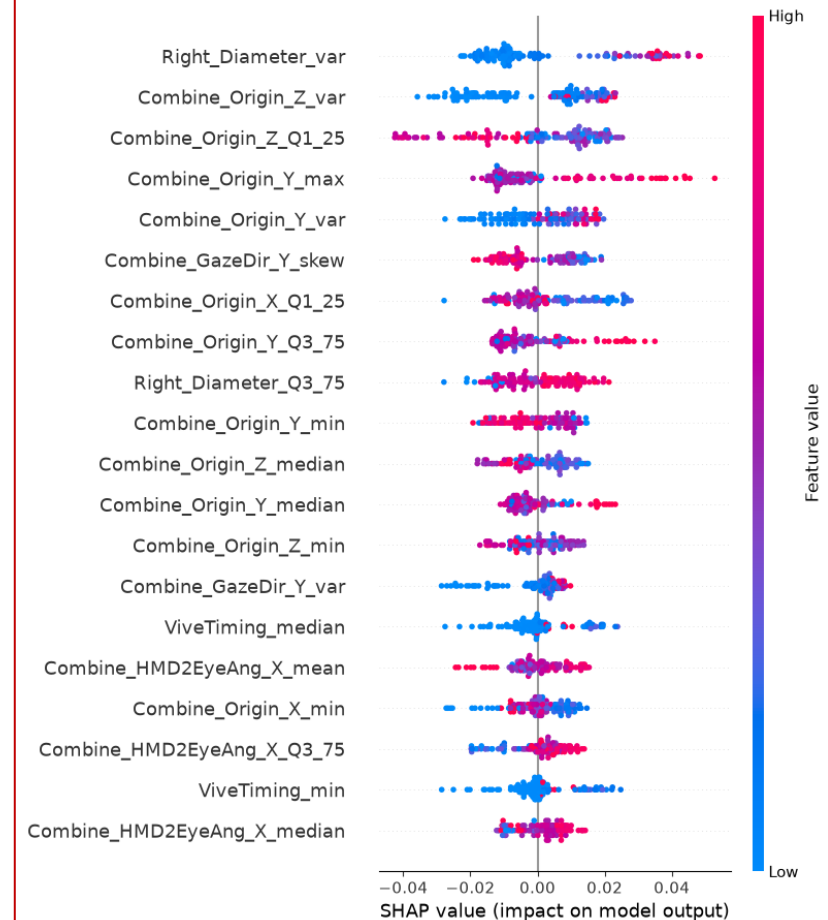
Impatto dei parametri (SHAP) - FMS



Impatto dei parametri (SHAP) - MENTAL



Impatto dei parametri (SHAP) - PHYS



RISULTATI SPERIMENTALI

OBIETTIVO DELL'ANALISI

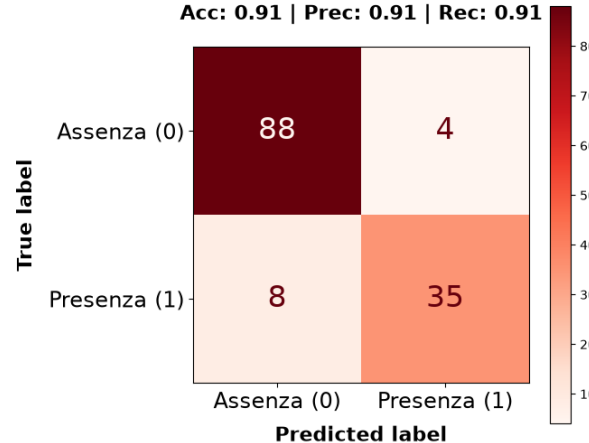
- Valutazione comparativa delle performance predittive dei tre classificatori (*KNN*, *SVM*, *Random Forest*).
- Stima dell'insorgenza su tre target distinti: **Cybersickness (FMS)**, **Carico Mentale (Mental)** e **Carico Fisico (Phys)**.

MODELLI	TARGET	CONF. COMPLETA			CONF. RIDOTTA		
		Acc	Prec	Rec	Acc	Prec	Rec
KNN	FMS	0.87	0.88	0.87	0.86	0.86	0.86
	Mental	0.92	0.92	0.92	0.90	0.90	0.90
	Phys	0.83	0.83	0.83	0.82	0.82	0.82
SVM	FMS	0.85	0.85	0.85	0.87	0.87	0.87
	Mental	0.90	0.90	0.90	0.90	0.89	0.90
	Phys	0.85	0.87	0.85	0.83	0.83	0.83

RISULTATI SPERIMENTALI

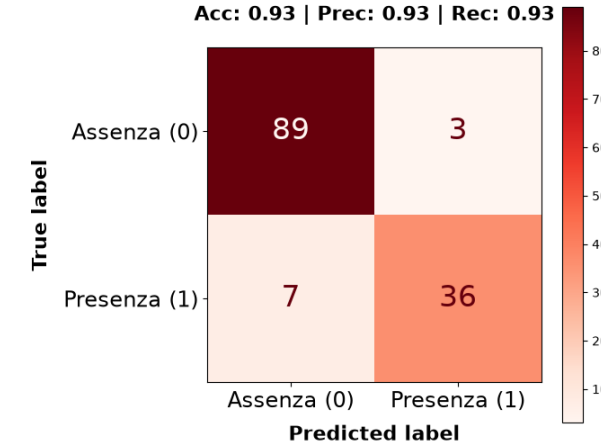
RANDOM FOREST CON CONFIGURAZIONE COMPLETA

Confusion Matrix: Random Forest - FMS
Acc: 0.91 | Prec: 0.91 | Rec: 0.91

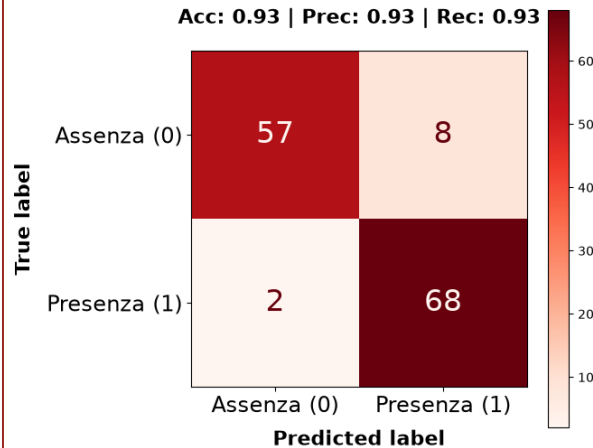


RANDOM FOREST CON CONFIGURAZIONE RIDOTTA

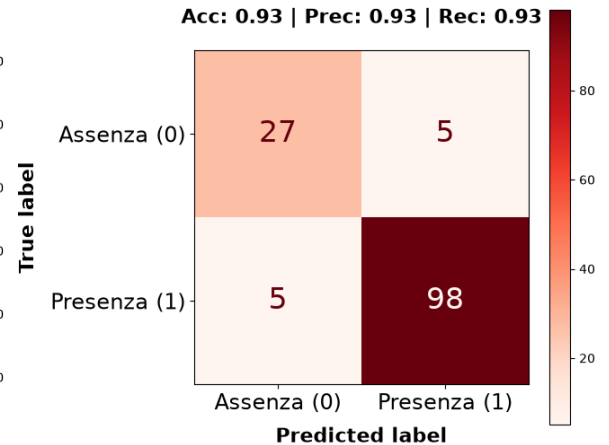
Confusion Matrix: Random Forest - FMS
Acc: 0.93 | Prec: 0.93 | Rec: 0.93



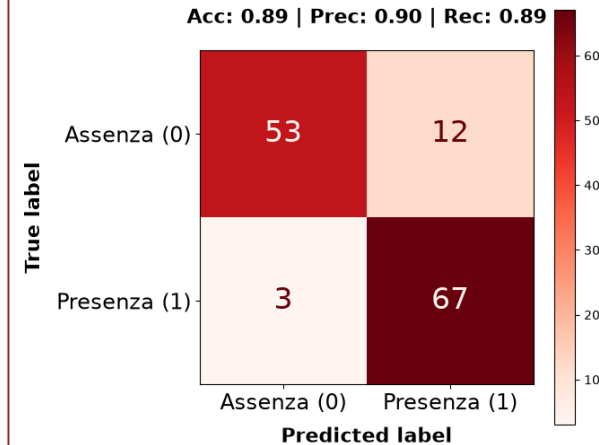
Confusion Matrix: Random Forest - PHYS
Acc: 0.93 | Prec: 0.93 | Rec: 0.93



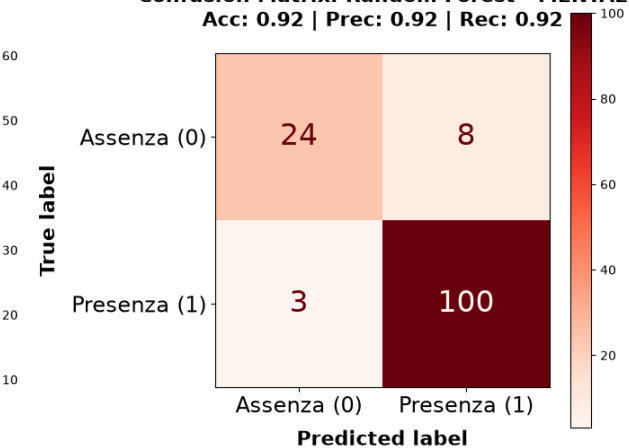
Confusion Matrix: Random Forest - MENTAL
Acc: 0.93 | Prec: 0.93 | Rec: 0.93



Confusion Matrix: Random Forest - PHYS
Acc: 0.89 | Prec: 0.90 | Rec: 0.89



Confusion Matrix: Random Forest - MENTAL
Acc: 0.92 | Prec: 0.92 | Rec: 0.92



CONCLUSIONI

MODELLO OTTIMALE: RANDOM FOREST

- Accuratezza media del **92%** sui tre target predittivi
- Capacità intrinseca di gestire relazioni non lineari complesse tra segnali diversi **senza overfitting**
- Si conferma la **scelta migliore** rispetto a KNN e SVM

Fattibilità del Setup Ridotto

FMS:

Accuratezza incrementata (+2% sia in RF che in SVM)

MENTAL:

Perdita minima (-1% in RF, -2% in KNN)

PHYS:

Variazione marginale (drop max -4% in RF)