

DIGITAL TWIN PER LO SVILUPPO AERODINAMICO DI UNA MOTOGP MEDIANTE MESH MORPHING E MODELLI DI ORDINE RIDOTTO

Facoltà di Ingegneria
Corso di Laurea in Ingegneria Meccanica

LAUREANDO Filippo Bardelloni
RELATORE Prof. Marco E. Biancolini

CORRELATORI Ing. E. Di Meo
Ing. A. Lopez



SOMMARIO

1. INTRODUZIONE

- Caso studio
- Coefficiente di drag
- Metodi

2. WORKFLOW

- Workflow e software
- Geometria di baseline: mesh e setting CFD
- Parametrizzazione di forma
- DoE ed ottimizzazione
- Generazione del ROM

3. RISULTATI

- Ottimizzazione: superfici di risposta e punto di ottimo
- ROM ed Errore di riduzione

4. CONCLUSIONI





Prima fase

Ottimizzazione di un modello di MotoGP in termini di riduzione del coefficiente di drag

Seconda fase

Implementazione di un modello di ordine ridotto per la creazione di digital twin



Coefficiente di drag

Introduzione

Workflow

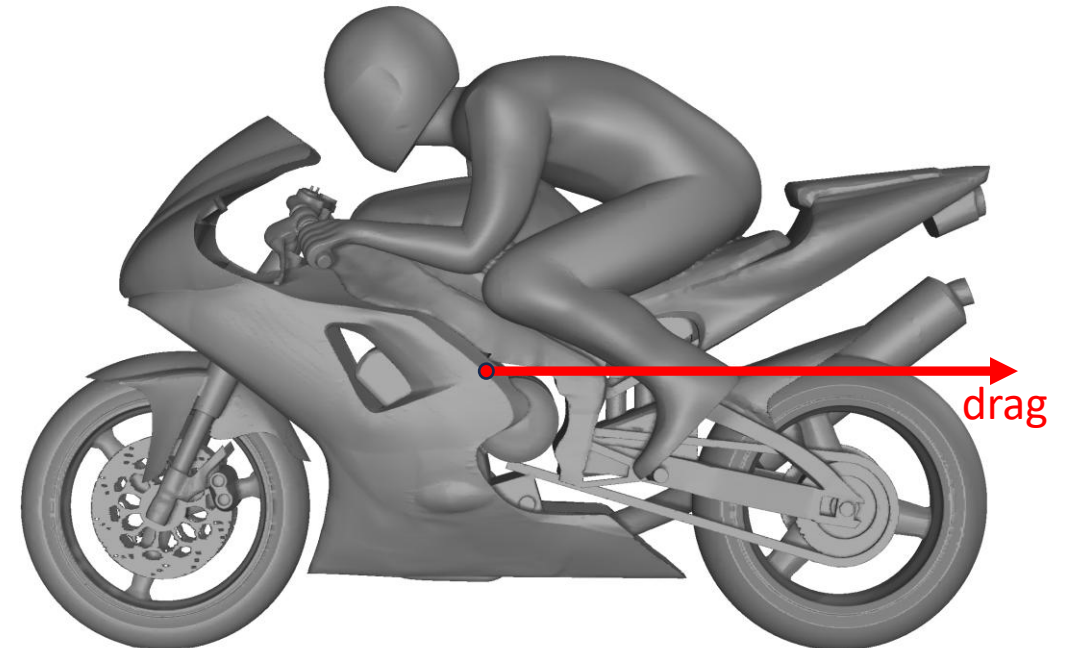
Risultati

Conclusioni

- ❑ Il coefficiente di drag (C_d) è un parametro adimensionale che **quantifica la resistenza aerodinamica** di un oggetto in moto in un fluido

$$C_d = \frac{F_d}{\frac{1}{2}\rho v^2 A}$$

- ❑ Il valore del C_d **dipende dalla forma** dell'oggetto
- ❑ Una riduzione del drag comporta un aumento della velocità di punta ed una riduzione dei consumi





Mesh Morphing

per la parametrizzazione di forma

Design of Experiments superfici di risposta

per la raccolta dati ed ottimizzazione

Singular Value Decomposition

per la creazione di un modello di ordine ridotto

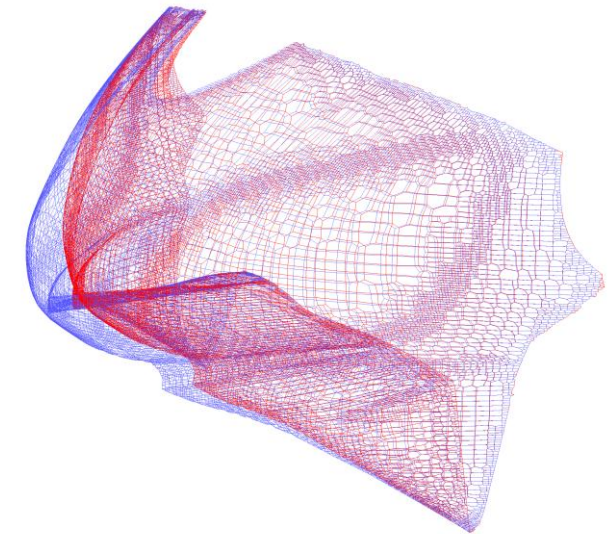


RBF (*Radial Basis Functions*)

$$\begin{aligned} f^x(x) &= \sum_{i=1}^m \gamma_i^x \phi(\|c_i - x\|) + \beta_1^x + \beta_2^x x_1 + \beta_3^x x_2 + \beta_4^x x_3 \\ f^y(x) &= \sum_{i=1}^m \gamma_i^y \phi(\|c_i - x\|) + \beta_1^y + \beta_2^y x_1 + \beta_3^y x_2 + \beta_4^y x_3 \\ f^z(x) &= \sum_{i=1}^m \gamma_i^z \phi(\|c_i - x\|) + \beta_1^z + \beta_2^z x_1 + \beta_3^z x_2 + \beta_4^z x_3 \end{aligned}$$

Peso e funzione radiale

Termine polinomiale



VANTAGGI

- ☐ Metodo mesh-independent
- ☐ Non necessita il re-meshing
- ☐ Topologia inalterata



DOE e superfici di risposta

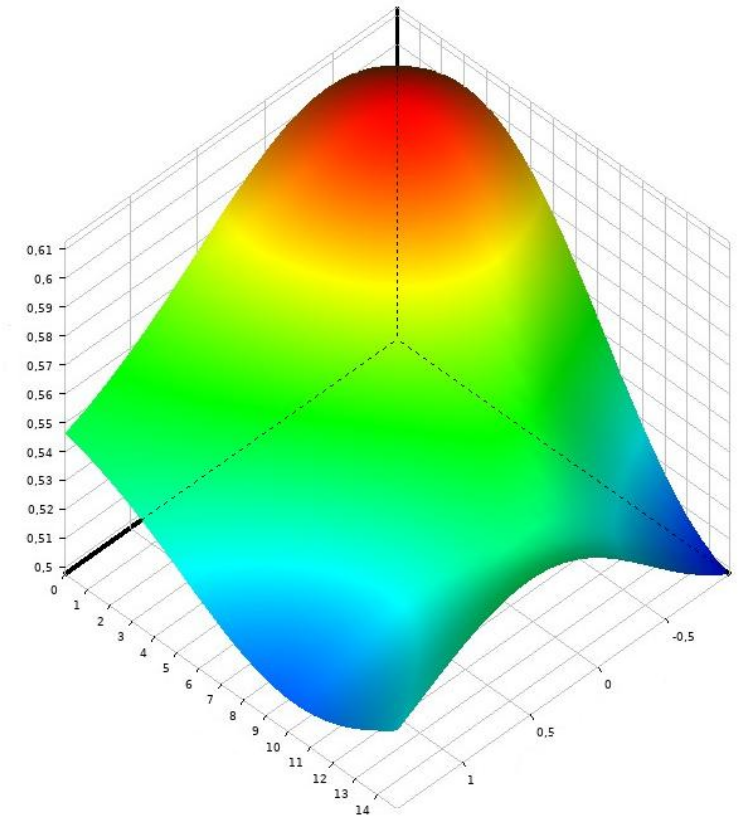
Introduzione

Workflow

Risultati

Conclusioni

- ❑ Il **DOE** è un metodo statistico che consente di ricavare il *maggior numero* possibile di informazioni dal *minor numero* possibile di esperimenti
- ❑ il **metodo delle superfici di risposta** (RSM) è una tecnica di ottimizzazione che sfrutta i dati ottenuti tramite il DOE per *stimare la dipendenza della funzione di output al variare dei parametri di input*
- ❑ Una volta estrapolata la superficie di risposta, si possono ricavare valori dell'output per punti non simulati interni al dominio

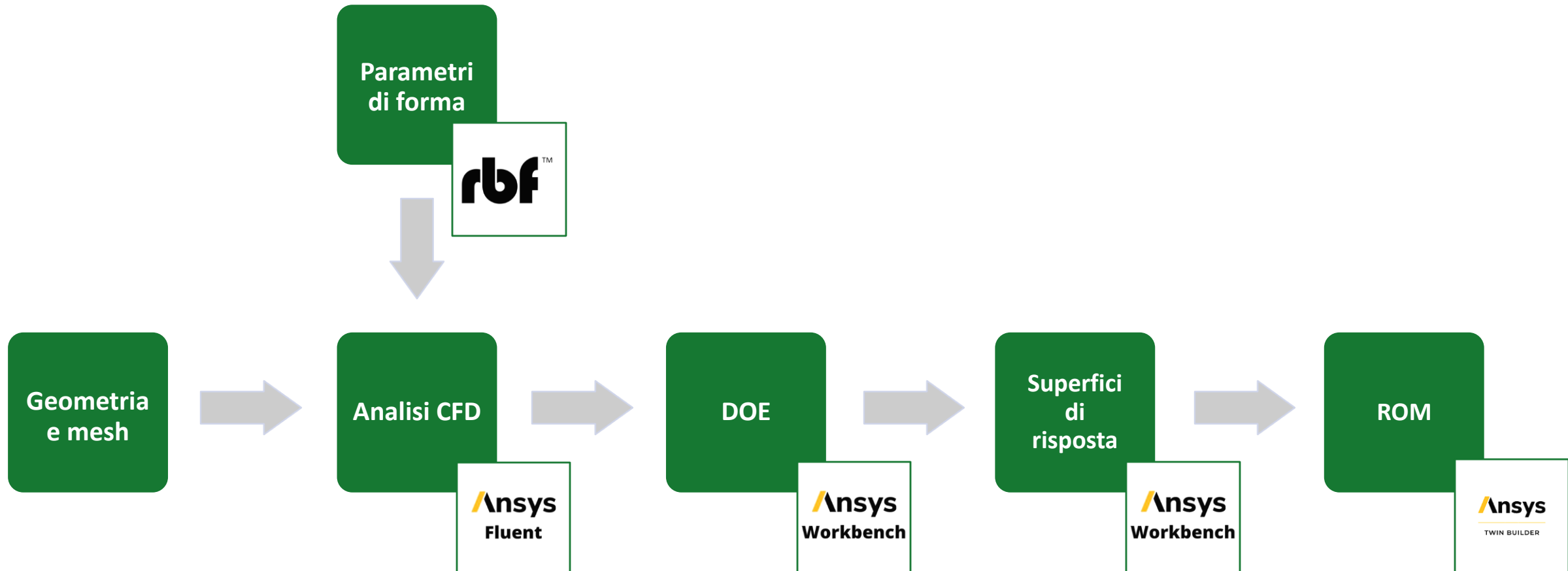




SVD (*Singular Value Decomposition*)

$$M = U \cdot \Sigma \cdot V^*$$

- ☐ La matrice U è una matrice unitaria
- ☐ La matrice Σ è una matrice diagonale
- ☐ La matrice V^* è la trasposta di una matrice unitaria V
- ☐ I primi r -vettori colonna della matrice U sono detti **modi** e la loro combinazione lineare approssima la matrice M





Geometria di baseline

Introduzione

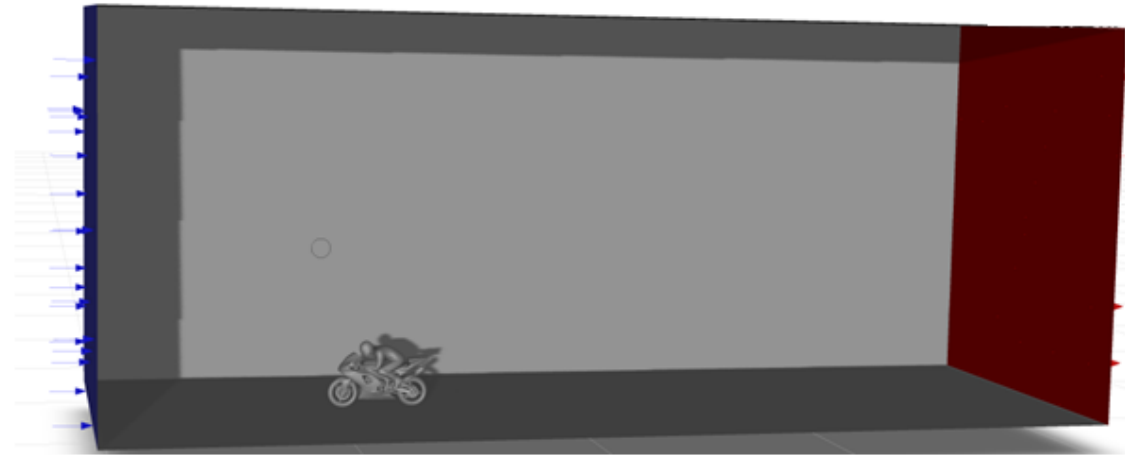
Workflow

Risultati

Conclusioni

Caratteristiche della mesh

Celle	4.460.073
Nodi	5.789.966
Facce	14.547.357

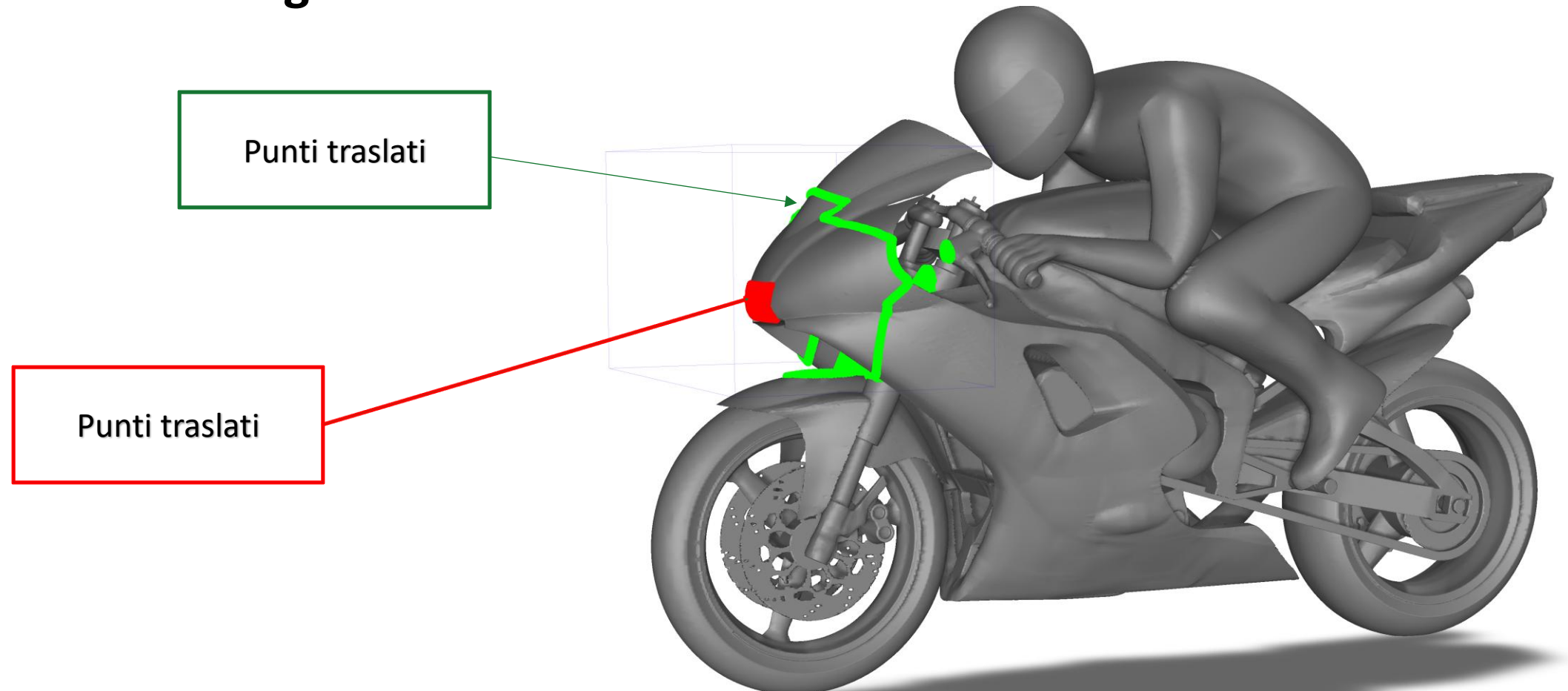


Settaggi dell'analisi CFD:

Velocità di inlet	55,5 m/s
Pressione relativa di outlet	0 Pa
Velocità del suolo	55,5 m/s
Velocità angolare delle ruote	184,2 rad/s
Modello di turbolenza	k- ω SST

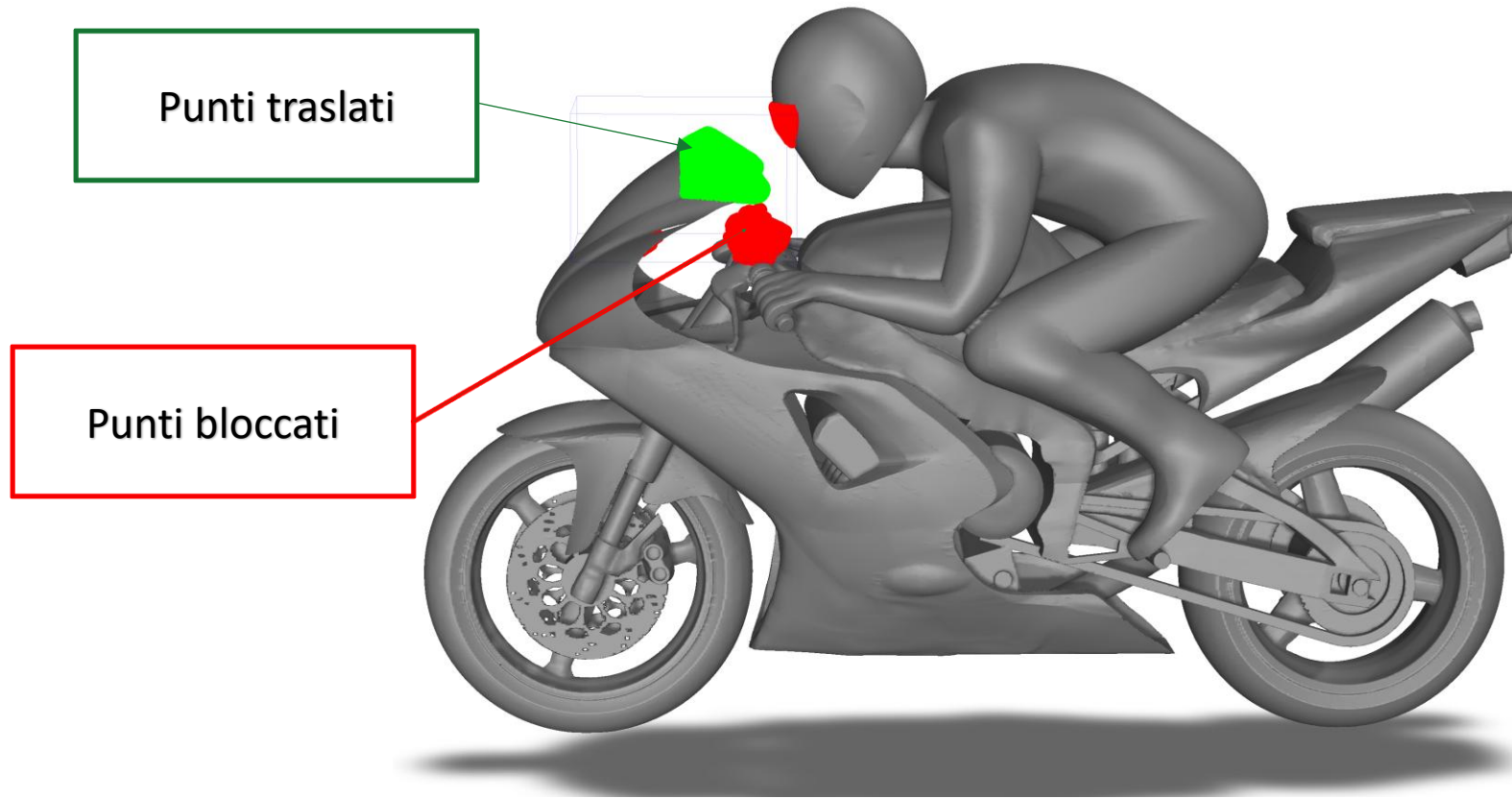


Modifica 1: allungamento del muso



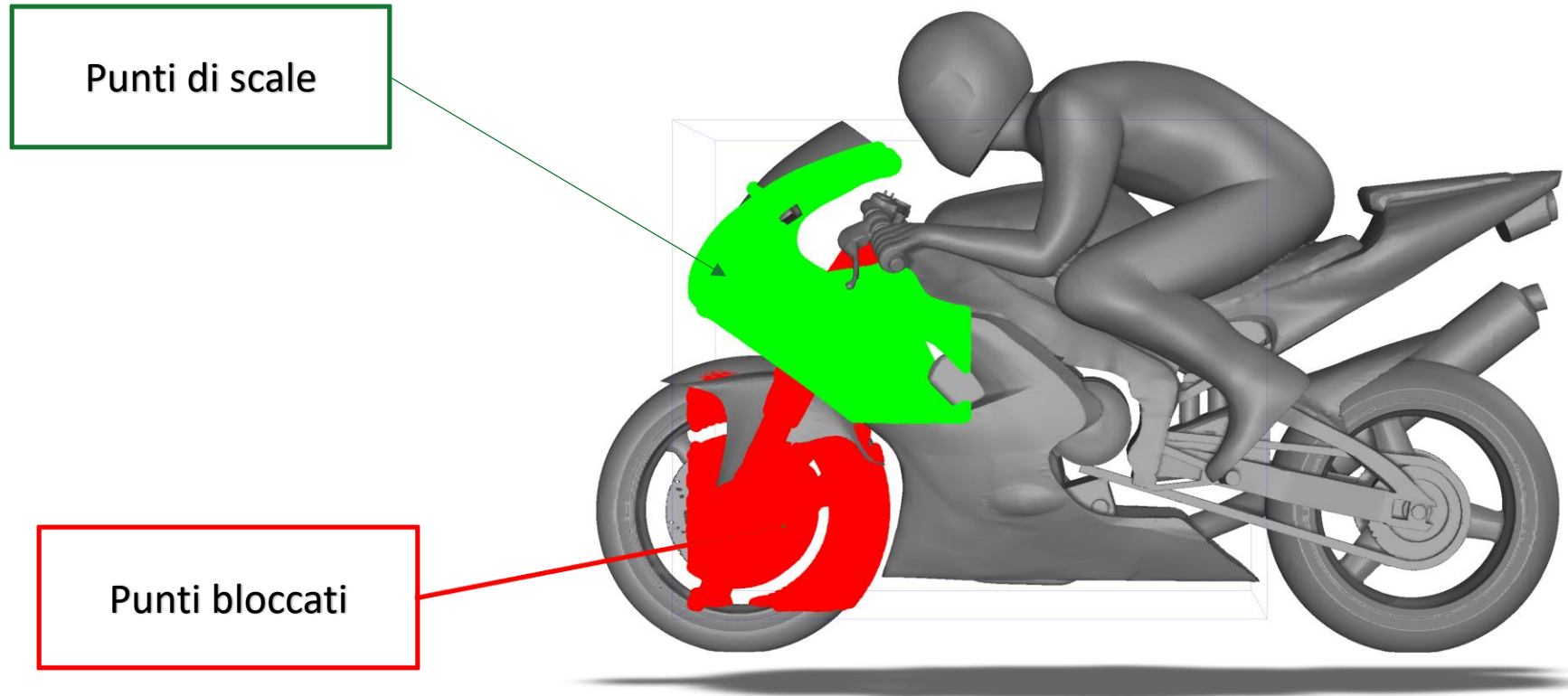


Modifica 2: allungamento del cupolino



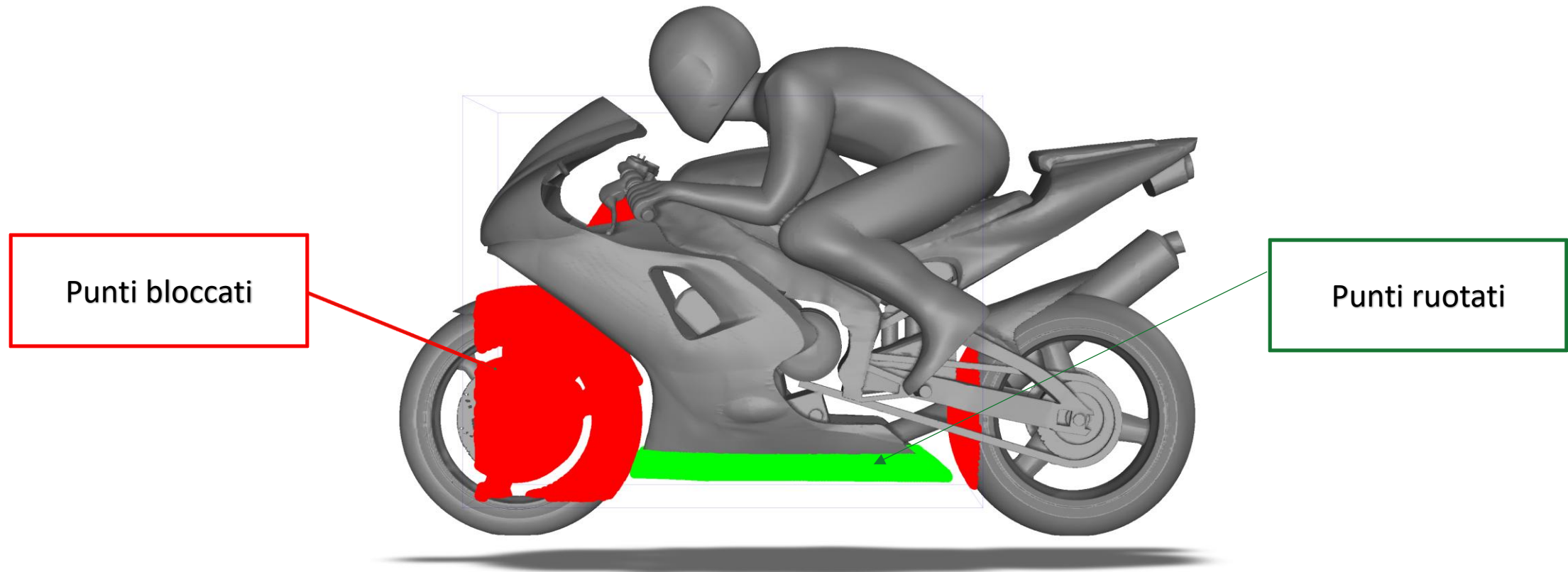


Modifica 3: strizione della carenatura frontale



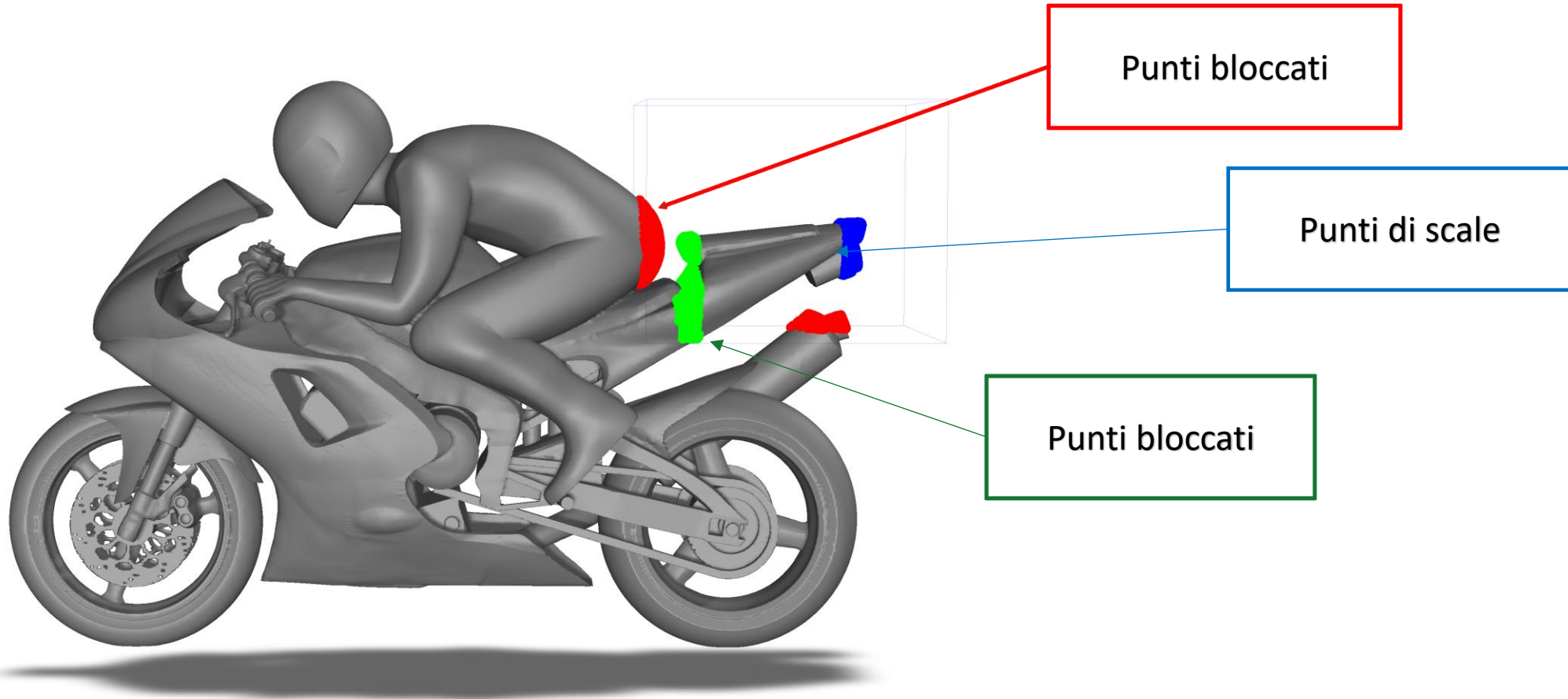


Modifica 4: inclinazione della carenatura inferiore



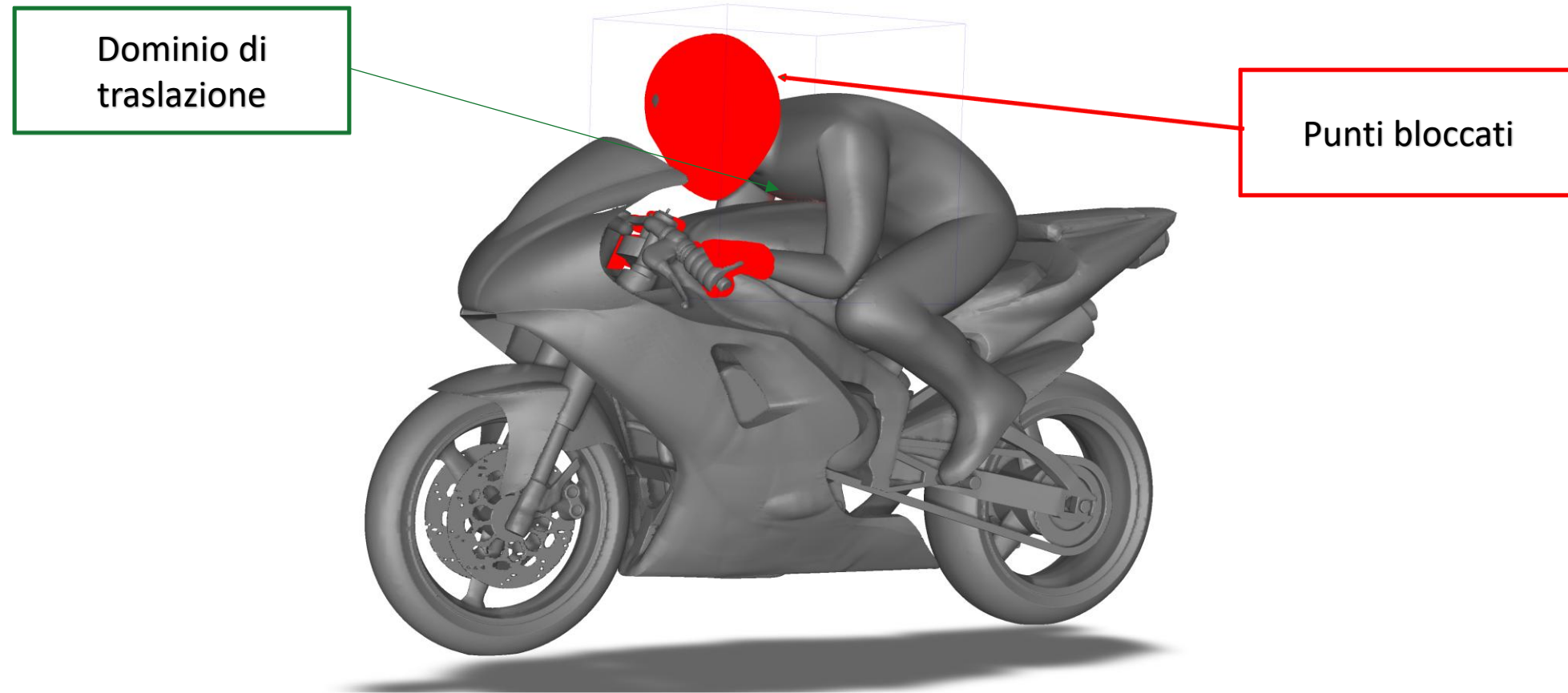


Modifica 5: strizione del codone





Modifica 6: abbassamento del serbatoio





Set-up del DOE:

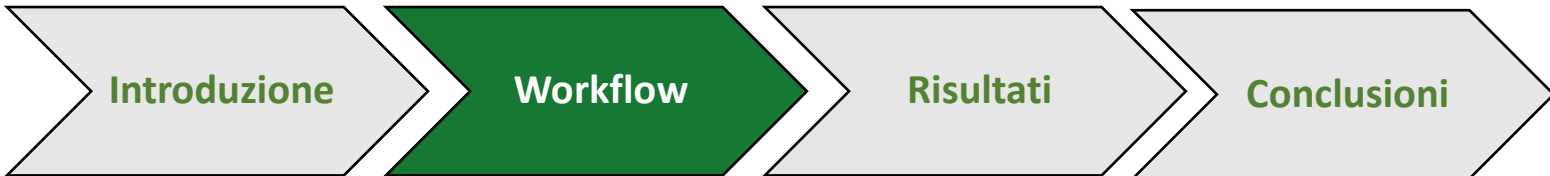
Tipologia	campionamento latin hypercube
Numero di design points	50

Properties of Outline A2: Response Surface		
	A	B
1	Property	Value
2	Design Points	
3	Preserve Design Points After DX Run	☐
4	Failed Design Points Management	
5	Number of Retries	0
6	Meta Model	
7	Response Surface Type	Genetic Aggregation
8	Verification Points	
9	Generate Verification Points	☐
10	Design Point Report	
11	Report Image	None

Outline of Schematic B4: Optimization		
Properties of Outline A2: Optimization		
	A	B
1	Property	Value
	Run	
4	Failed Design Points Management	
5	Number of Retries	0
6	Optimization	
7	Method Selection	Auto
8	Estimated Number of Evaluations	33600
9	Method Name	MOGA
10	Tolerance Settings	☒
11	Verify Candidate Points	☐
12	Number of Initial Samples	7000
13	Number of Samples Per Iteration	1400
14	Maximum Allowable Pareto Percentage	70
15	Convergence Stability Percentage	2
16	Maximum Number of Iterations	20
17	Maximum Number of Candidates	3



Generazione del ROM



Costruzione del ROM:

	% snapshots	Numero di modi
Geometrico	100%	32
Fisico	100%	5

Learning Snapshots Selection

Optimal Distribution ▾

Percentage of Snapshots :
100.00 %

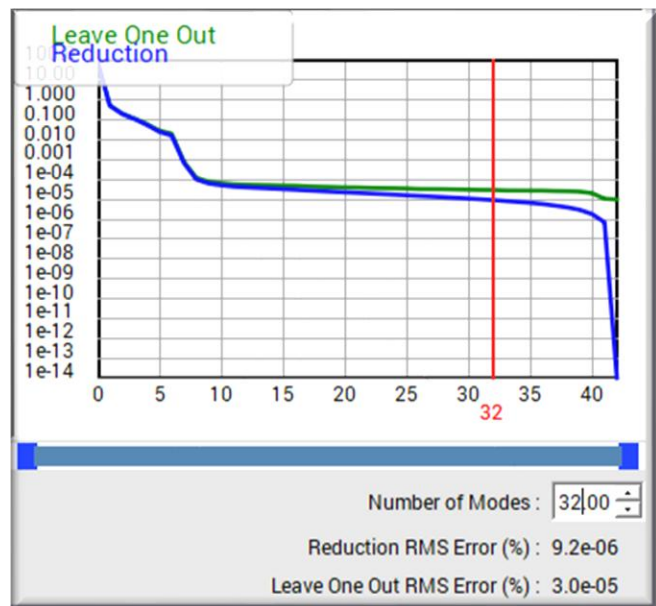
Number of Snapshots :
50.00 / 50

Constraints

☐ Maximum Value 1

☐ Minimum Value 0

Reduce





Caso di baseline

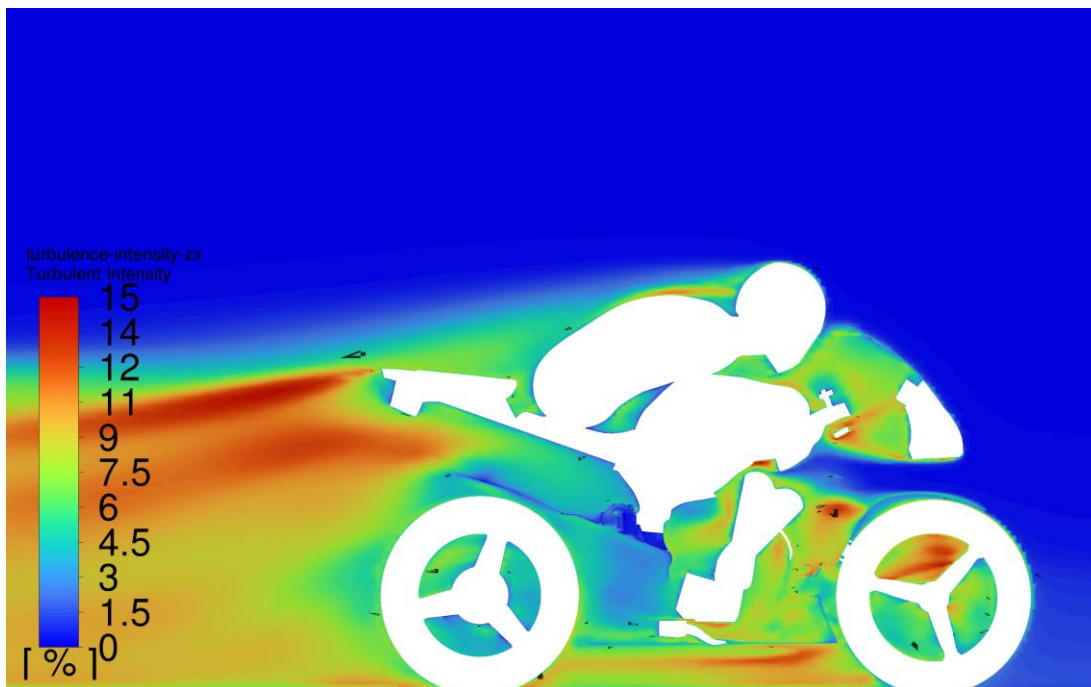
Introduzione

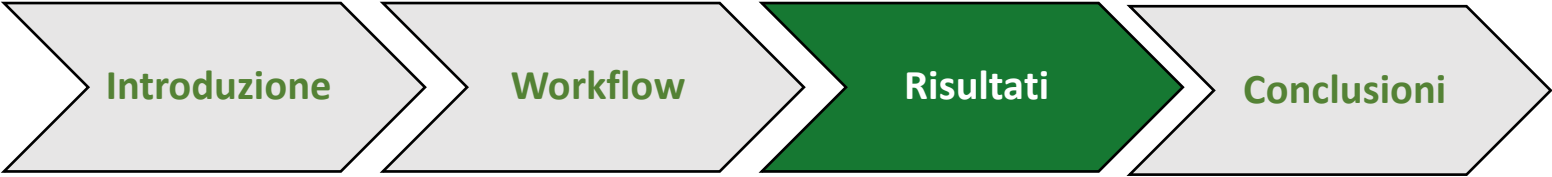
Workflow

Risultati

Conclusioni

Coefficiente di drag: 0,49

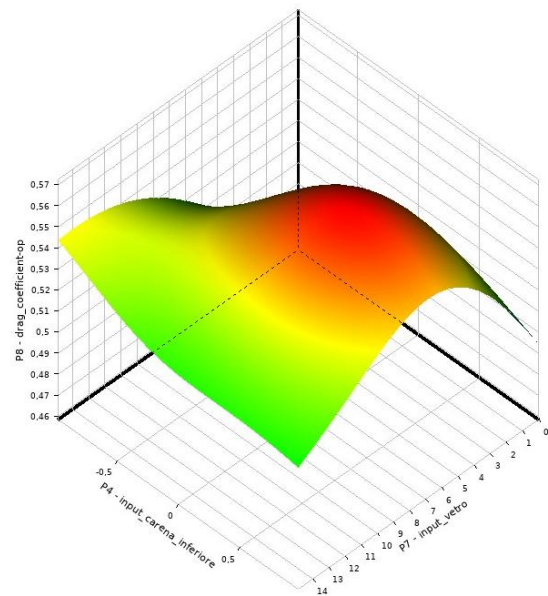
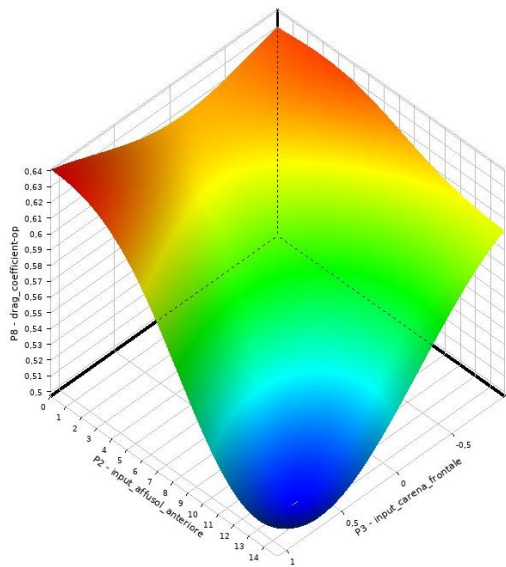
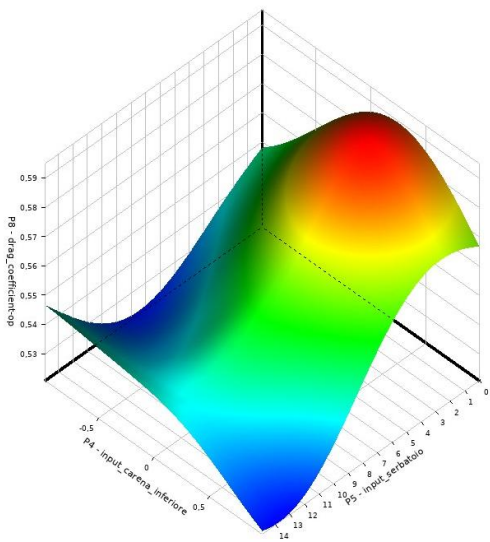




Punto di ottimo ottenuto con il metodo delle superfici di risposta:

Modifica 1	Modifica 2	Modifica 3	Modifica 4	Modifica 5	Modifica 6
9,181	0,058	0,013	-0,595	-0,944	12,353

Nuovo coefficiente di drag calcolato: 0,428





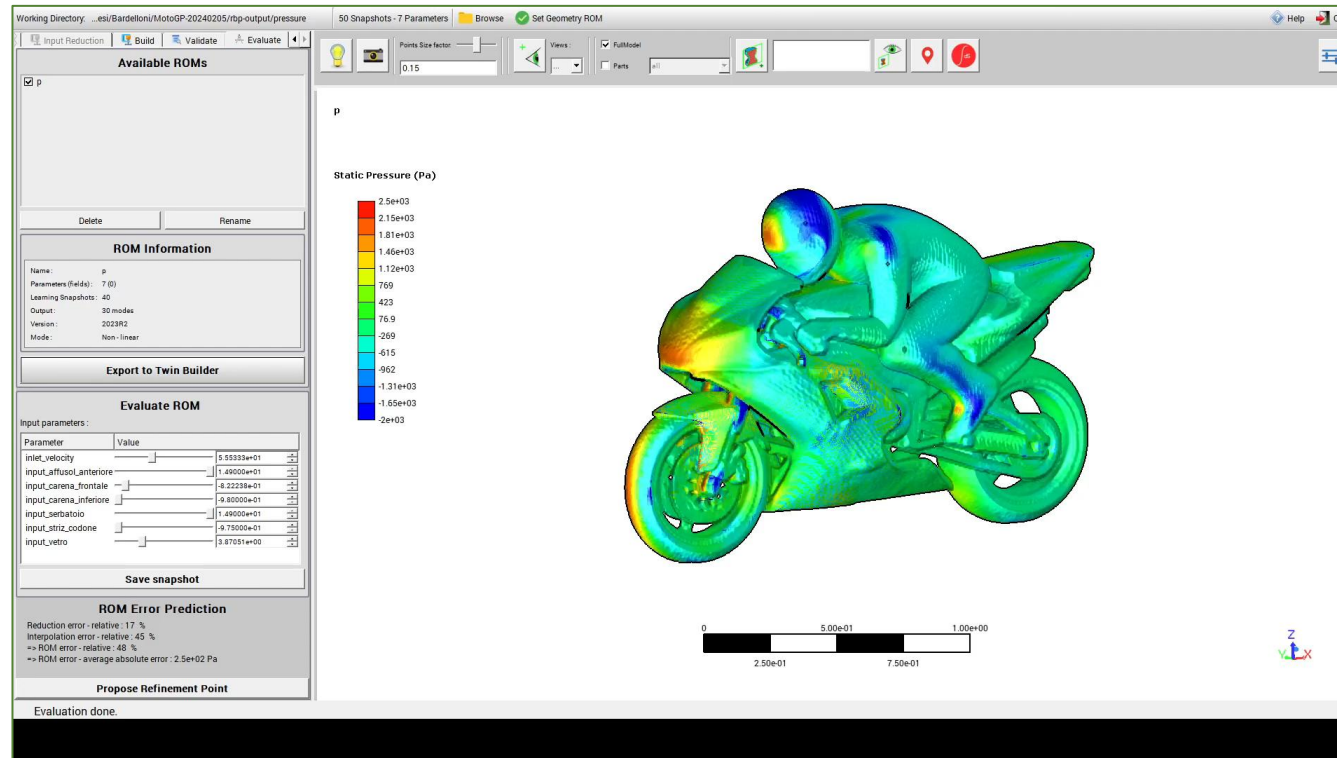
ROM ed errore di riduzione

Introduzione

Workflow

Risultati

Conclusioni



Errori:

Errore nella forma ottimizzata	Errore medio per tutti i DPs
27%	17,6%



- ☐ Un buon risultato dell'ottimizzazione con riduzione del 12% del coefficiente di drag
- ☐ L'errore di riduzione del ROM è elevato a causa del basso numero di snapshots in confronto al numero di parametri di forma
- ☐ La metodologia di lavoro adottata consente comunque una buona analisi qualitativa dell'effetto della variazione dei parametri di forma sulla moto
- ☐ Il ROM consente di valutare l'effetto della variazione di geometria sull'intero campo di pressione



- ☐ Aumento del numero design points per ottenere un modello più preciso
- ☐ Raccolta di dati sperimentali direttamente dalla pista
- ☐ Implementazione del modello in VR e AR



DIGITAL TWIN PER LO SVILUPPO AERODINAMICO DI UNA MOTOGP MEDIANTE
MESH MORPHING E MODELLI DI ORDINE RIDOTTO

GRAZIE PER L'ATTENZIONE

LAUREANDO Filippo Bardelloni
RELATORE Prof. Marco E. Biancolini

CORRELATORI Ing. E. Di Meo
Ing. A. Lopez