

Università degli Studi di Padova – Dipartimento di Ingegneria Industriale
Corso di Laurea in Ingegneria Meccanica
Relazione per la prova finale

MODELLAZIONE DEL CIRCUITO INTERNAZIONALE DI F1 DEL BAHRAIN E ANALISI CINEMATICA DELLE TRAIETTORIE

Tutor Universitario: Prof. Matteo Massaro

Laureando: Francesco Motta

Matricola: 1224703

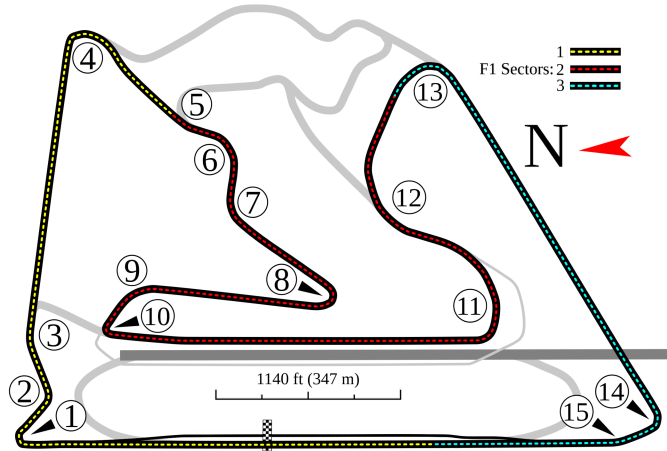
Padova, 14/07/2022

OBBIETTIVI

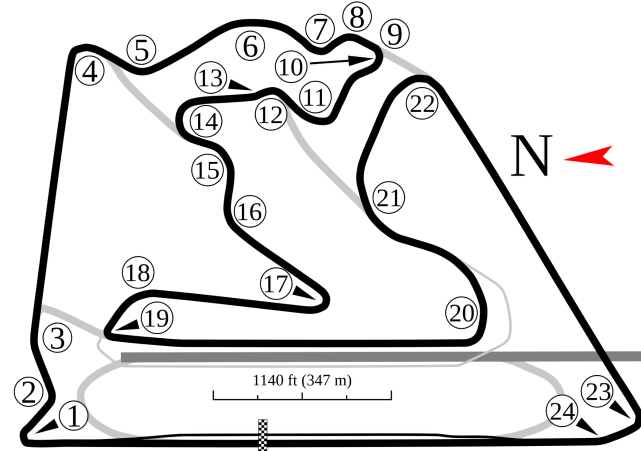
- Modellazione del circuito del Bahrain tramite il rilevamento dei dati GPS da Google Earth ed importazione in AutoCAD
- Calcolo dei coefficienti di attrito per i vari elementi del circuito modellato (asfalto, ghiaia, asfalto dopo ghiaia), tramite un'analisi approssimata delle uscite di traiettoria compiute dai piloti
- Confronto dei risultati ottenuti con i relativi scarti e incertezze

PROCEDIMENTO

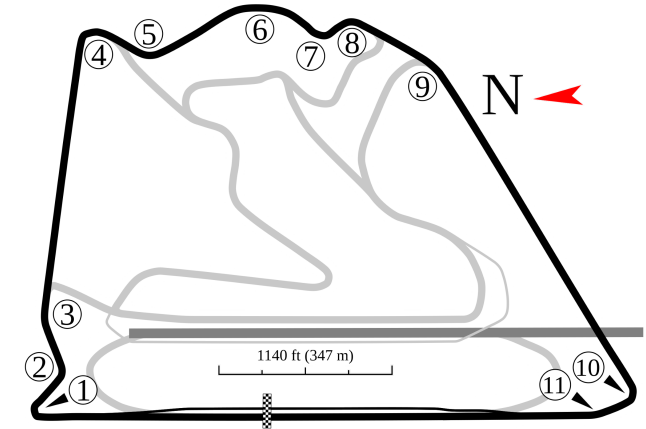
- Raccolta dei dati GPS del circuito da Google Earth
- Conversione dei punti in file di testo mediante GPSvisualizer (servizio disponibile online)
- Importazione dei dati in un modello AutoCAD, dotato anche del profilo della velocità
- Ricerca di video di cadute che siano analizzabili e rilevamento degli istanti e spazi di caduta
- Raccolta dei dati in script di matlab, e calcolo dei coefficienti di attrito



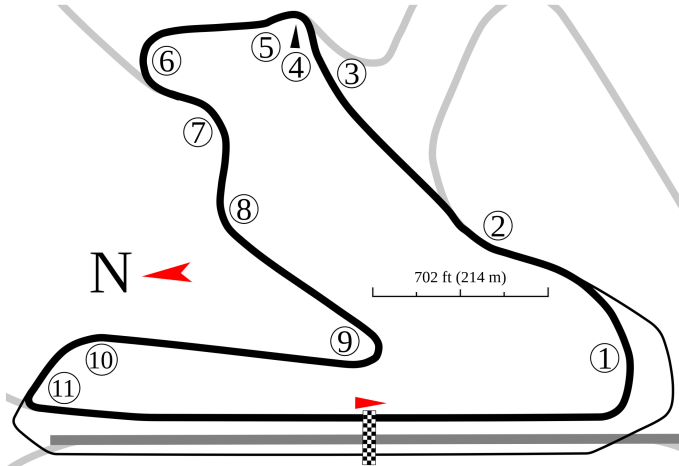
Grand Prix Circuit



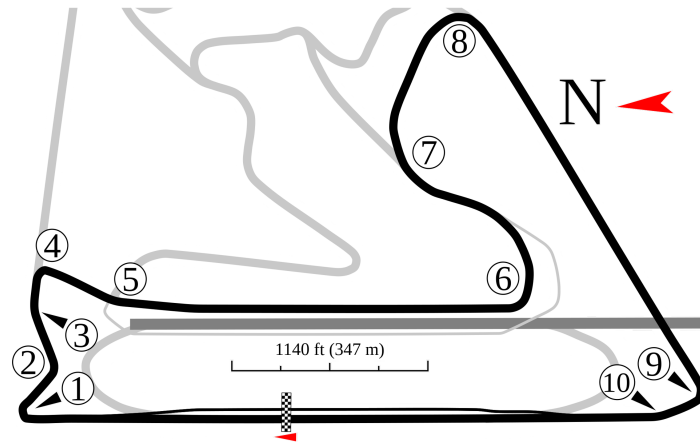
Endurance Circuit



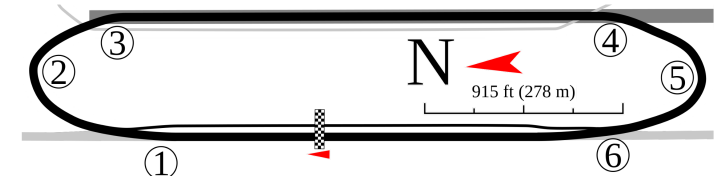
Outer Circuit



Oasis/Inner Circuit



Paddock Circuit

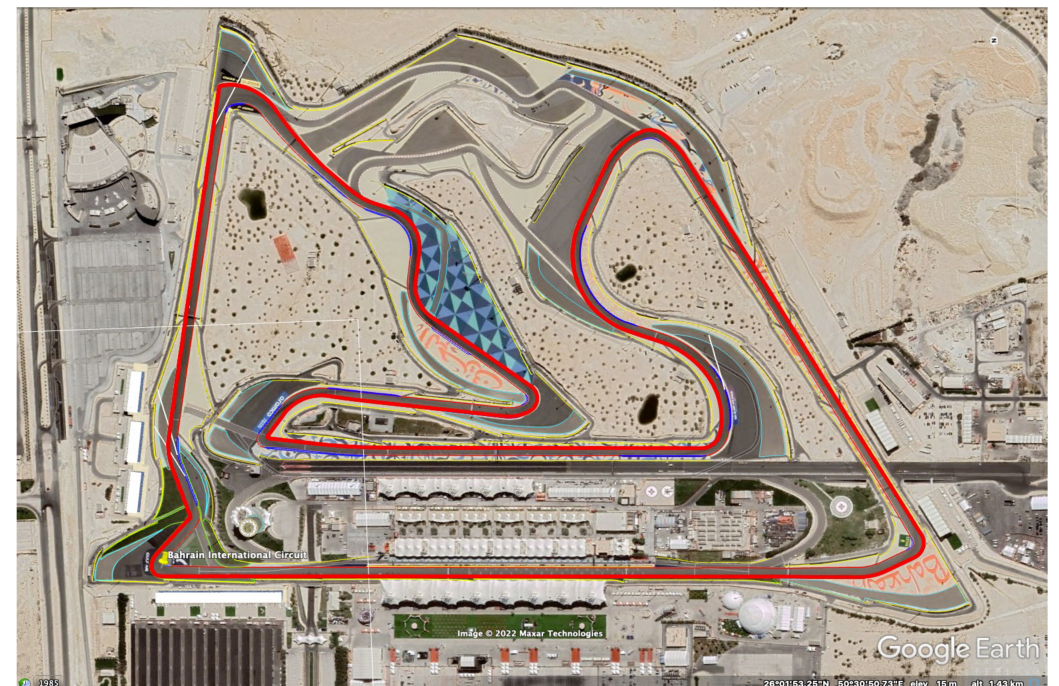


Ovale Piatto

- Il circuito viene visualizzato tramite Google Earth, e si individuano gli elementi del tracciato posizionando dei punti di localizzazione lungo il percorso
- Elementi individuati: bordi pista(2), cordoli(32), zone di ghiaia (13), zone d'erba(5), barriere(80)
- I punti vengono collocati cercando di mantenere la distanza di due metri tra punti adiacenti e seguendo il profilo dell'area di interesse
- Ogni insieme di punti forma un percorso che viene salvato in ".kml"



Dettaglio del rilevamento dati GPS e percorsi individuati da Google Earth



Vista del circuito Internazionale del Bahrain da Google Earth

Obiettivo: estrapolazione dei dati di ogni elemento mappato e organizzazione in file testo

Realizzazione: usufruendo del programma online "GPS visualizer" disponibile al link

<https://www.gpsvisualizer.com/elevation> si aggiunge il valore della quota ad ogni punto degli elementi del circuito Bahrain ricavati da Google Earth, e tutti i file ".kml" vengono convertiti uno alla volta in file ".txt".

Vantaggi: 1) unico documento che contiene le coordinate di latitudine, longitudine e altitudine
2) versatilità di utilizzo di un formato universale

Upload a file: rightborder.kmz

Or provide a URL:

-or-

Output:

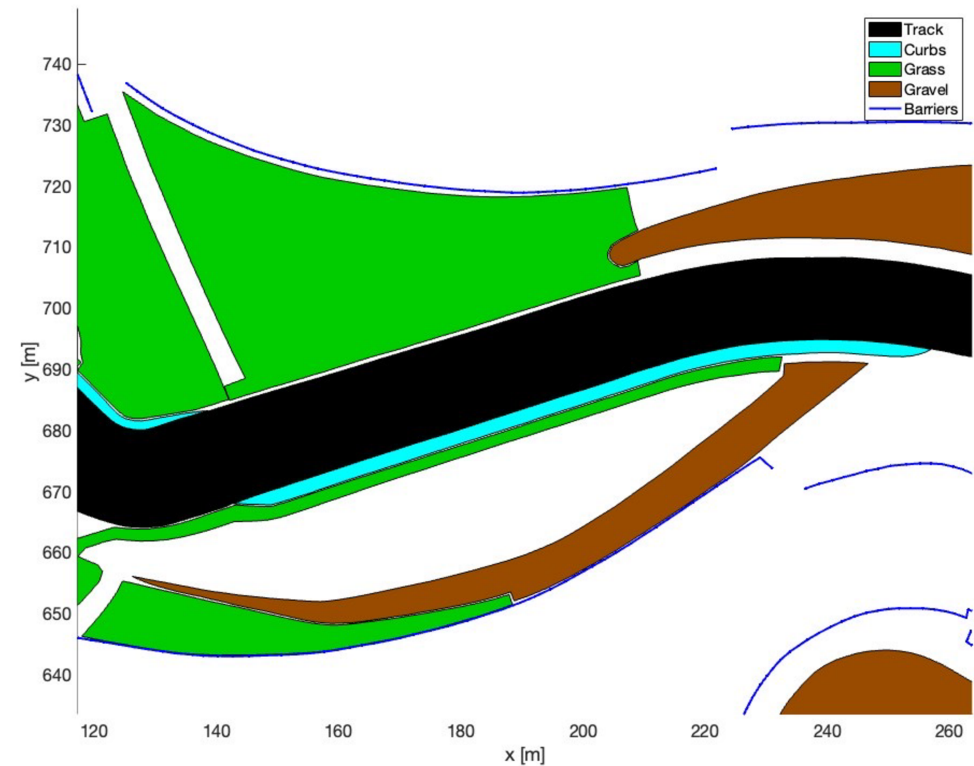
Units:

type	latitude	longitude	altitude (m)
T	26.030239548	50.510479241	8.7 #fc0907
T	26.030255333	50.510480142	8.7
T	26.030271567	50.510480634	8.6
T	26.030290137	50.510481506	8.6
T	26.030307886	50.510482342	8.6
T	26.030328631	50.510482894	8.5
T	26.030349189	50.510483438	8.5

- Lo script "Track_dataviewer.m", fornito dal tutor universitario, importa i file testo ottenuti su Matlab
- Lanciato lo script si verifica la corretta importazione dei dati e la mancanza di intersezioni tra le zone di cordoli, ghiaia erba e barriere
- A controllo completato i file ".txt" vengono utilizzati dal tutor universitario per generare un modello CAD in formato ".dxf"



Modello Matlab del circuito del Bahrain

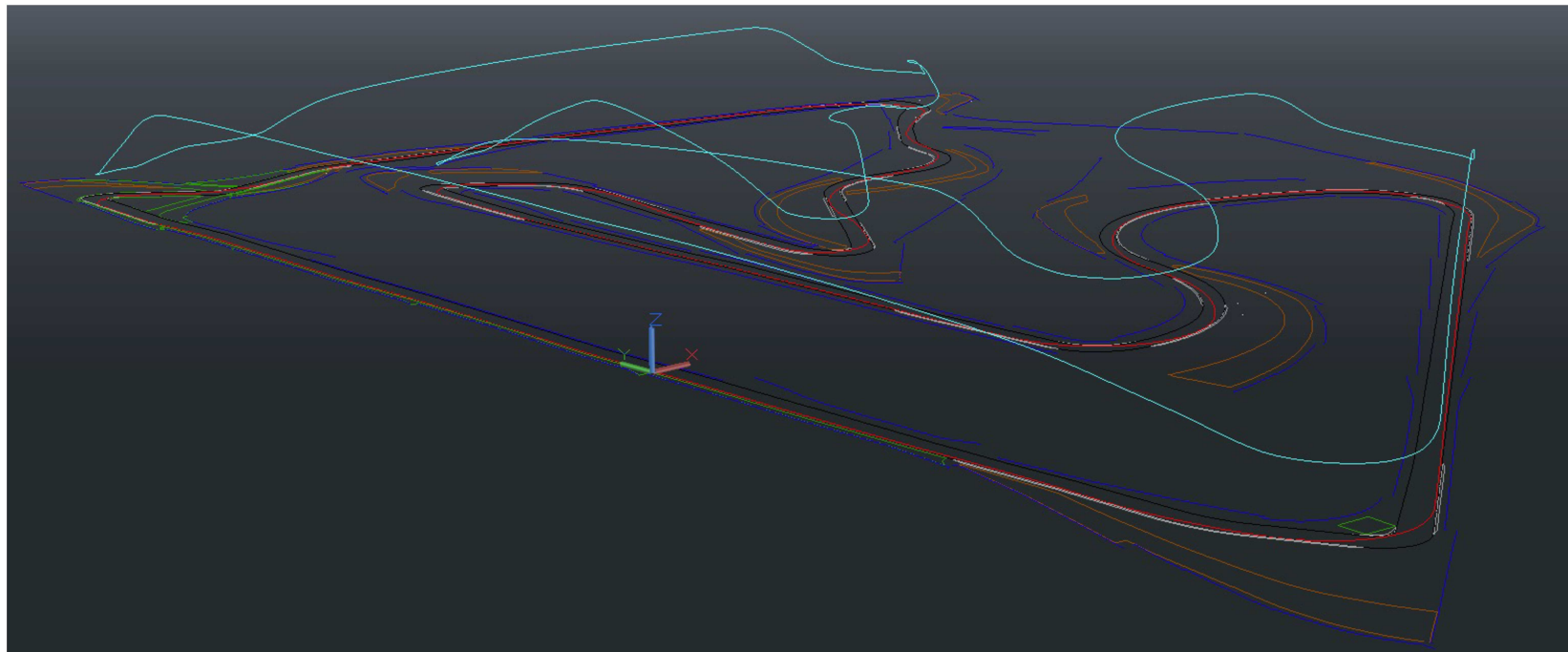


Dettaglio dal modello Matlab del circuito del Bahrain

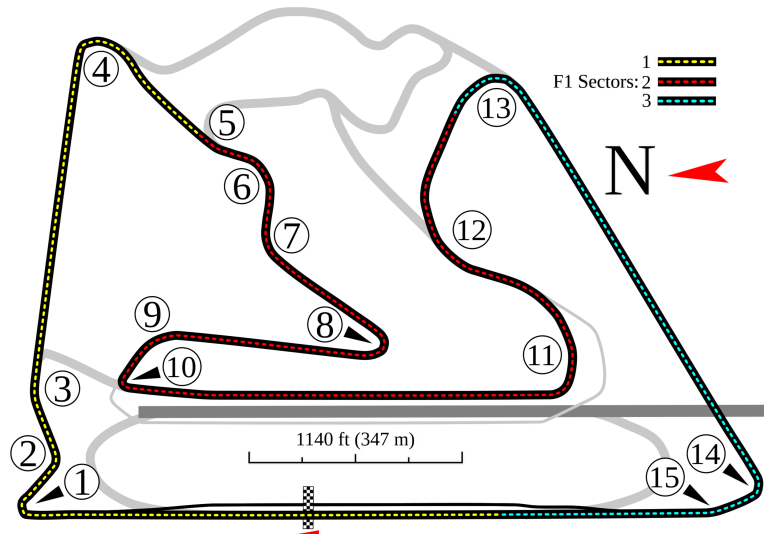
Il file generato ".dxf" contiene:

- Modello CAD del circuito Internazionale di Buriram;
- Traiettoria ottimale
- Profilo di velocità

La traiettoria è il percorso compiuto dal pilota in un giro ideale, ed è visualizzata come una polilinea in 2D realizzata tramite una simulazione di tempo minimo. Il profilo di velocità, è una polilinea in 3D (linea ciano) dove la quota è la velocità in [m/s] del veicolo lungo la traiettoria.



Modello
AutoCAD del
circuito
Internazionale
del Bahrain



Curve e settori del circuito del Bahrain

- Individuazione di uscite di traiettoria analizzabili consultando video disponibili in rete;
- Si scelgono 4 uscite di tracciato avvenute nelle curve 2, 3, 4, 11;
- Si rilevano tempo totale e tempi parziali di uscita usufruendo di FinulCut per una accurata visualizzazione dei frame;
- Da veicolo a ruote bloccate si individua il punto iniziale di uscita e dal modello CAD la stima della velocità iniziale

- Per ogni uscita, dalle formule della cinematica si calcolano accelerazione media e lo spazio totale

$$a_m = \frac{V_f - V_i}{t_{TOT}} \qquad S_{TOT} = \frac{V_f^2 - V_i^2}{2 \cdot a_m}$$

- Dalla dinamica dell'uscita si ricava il coefficiente d'attrito medio con le seguenti formule

(trascurando la pendenza) $F = \mu \cdot mg = m \cdot a_m \longrightarrow \mu = \frac{|a_m|}{g}$, con $g = 9,81 \text{ m/s}^2$

$$F = mg \cdot (\sin \alpha + \mu \cdot \cos \alpha) = m \cdot a_m \longrightarrow \mu = \frac{\frac{|a_m|}{g} + \sin \alpha}{\cos \alpha}, \text{ con } g = 9,81 \text{ m/s}^2$$

- Dall'analisi video si identificano dei riferimenti per tracciare al meglio la traiettoria di uscita nel modello CAD e si individuano gli spazi parziali percorsi dal veicolo;
- Si procede analogamente su Google Earth per analizzare il dislivello percorso in uscita;
- Partendo dall'asfalto si determinano decelerazione e coefficiente di attrito

$$S_{asf} = V_i \cdot t_{asf} + \frac{1}{2} a_{asf} \cdot t_{asf}^2 \quad \mu_{asf} = \frac{\frac{|a_{asf}|}{g} + \sin \alpha}{\cos \alpha};$$

- Si determina la velocità del veicolo al termine del tratto asfaltato

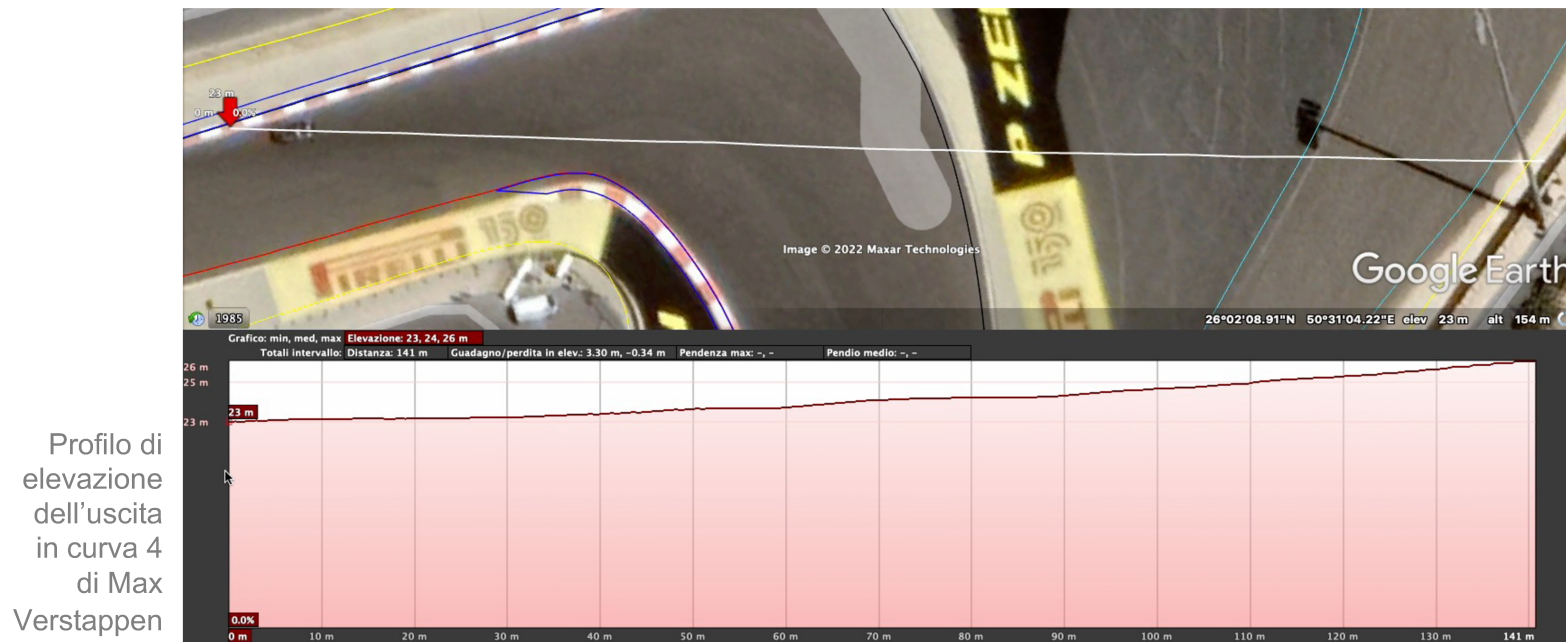
$$V_{fine\ asf.} = V_i + a_{asf} \cdot t_{asf}$$

- Si procede analogamente per il tratto di ghiaia

$$S_{ghiaia} = V_{fine\ asf.} \cdot t_{ghi} + \frac{1}{2} a_{ghi} \cdot t_{ghi}^2 \quad \mu_{ghi} = \frac{\frac{|a_{ghi}|}{g} + \sin \alpha}{\cos \alpha}$$

- Si determina poi la velocità del veicolo al termine del tratto di ghiaia e si procede analogamente per il breve tratto di asfalto dopo la ghiaia

- Tracciando la traiettoria di uscita su Google Earth se ne analizza il profilo di elevazione
- Individuato il dislivello H e lo spazio totale percorso S (rispettivamente cateto minore e ipotenusa di un triangolo rettangolo) si calcola la pendenza α



$$H = H_{finale} - H_{iniziale}$$

$$S = S_{tot}$$

$$\alpha = \arcsin\left(\frac{H}{S}\right)$$

I dati vengono raccolti ed elaborati tramite script di Matlab, iterando il procedimento descritto per ogni uscita analizzata. Segue l'analisi di ogni singola uscita

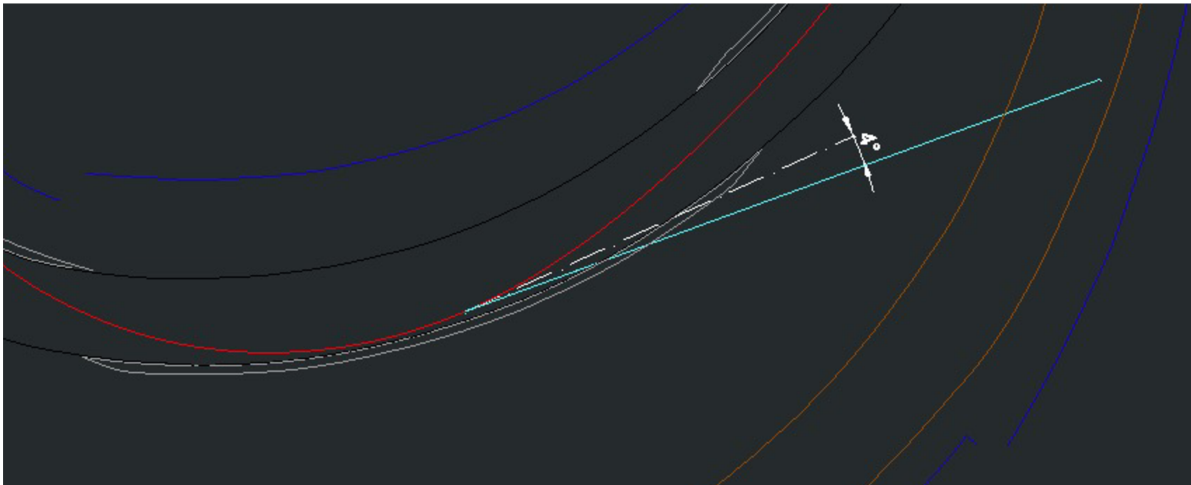


Curva 11

Gran Premio del
Bharain 2022

Prova libera n.3

Il pilota blocca le
ruote poco al di fuori
del cordolo. Si
considerano bloccate
a partire dalla
fuoriuscita dalla
traiettoria ideale.



Traiettoria del veicolo (azzurro) durante l'uscita di traiettoria, visualizzata nel modello CAD, ed angolo di 4° che forma con la tangente (tratteggiata in bianco) alla traiettoria ideale, nel punto di inizio uscita.



Vista della curva 11 da Google Earth

Pendenza [°]	α		
	1,86		
Tempo [s]	t TOT	t asfalto	t ghiaia
	3,40	1,58	1,82
Spazio [m]	S TOT	S asfalto	S ghiaia
	92,36	66,76	25,6
Velocità [m/s]	Vi	Vf asfalto	
	54,33	30,18	
Accelerazione [m/s²]	a media	a asfalto	a ghiaia
	-15,98	-15,29	-17,71
Coef. attrito [/]	μ medio	μ asfalto	μ ghiaia
	1.66	1,59	1,84

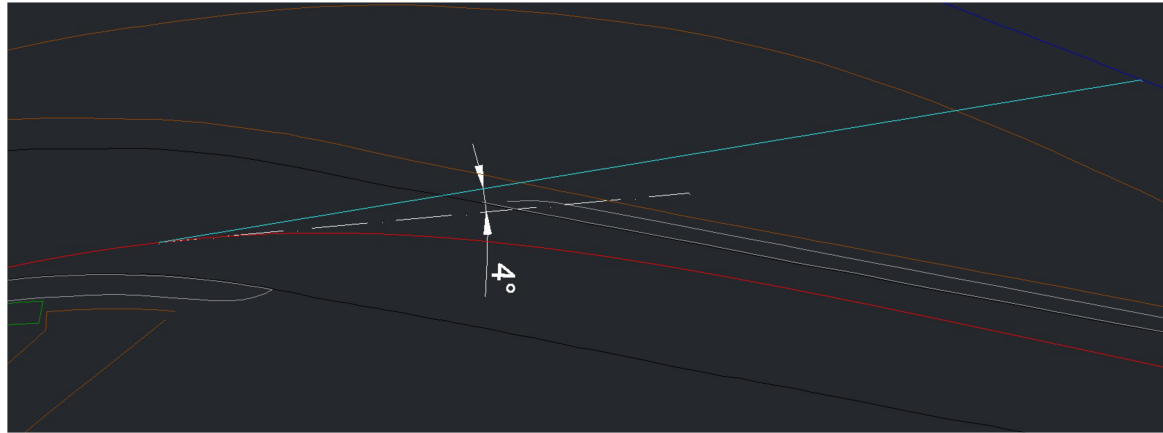


Curva 2

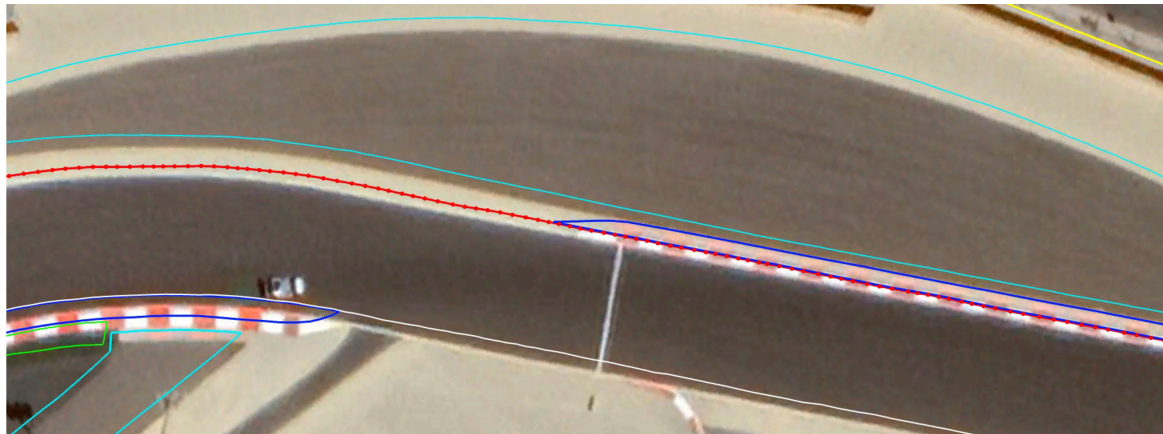
Gran Premio del
Bharain 2021

Prova libera n.2

Il veicolo impatta sulla
barriera a velocità
sostenuta, si considera
dunque una velocità
finale non nulla.



Traiettoria del veicolo (azzurro) durante l'uscita di traiettoria, ed angolo di 4° che forma con la tangente (tratteggiata in bianco) alla traiettoria ideale, nel punto di inizio uscita.



Vista della curva 2 da Google Earth

Pendenza [°]	α			
	2,44			
Tempo [s]	t TOT	t asfalto.p	t ghiaia	t asfalto.fp
	3,14	1,40	1,10	0,64
Spazio [m]	S TOT	S asfalto.p	S ghiaia	S asfalto.fp
	93,80	62,50	24,50	6,80
Velocità [m/s]	Vi	Vf asfalto.p	Vf ghiaia	V impatto
	56,82	32,47	12,08	3,89
Accelerazione [m/s²]	a media	a asfalto.p	a ghiaia	a asfalto.fp
	-16,89	-17,40	-18,53	-4,55
Coef. attrito [/]	μ medio	μ asfalto.p	μ ghiaia	μ asfalto.fp
	1,76	1,82	1,93	0,51

NOTA

asfalto.p = zona di asfalto della pista

asfalto.fp = zona asfalto fuori dalla pista

$V_{\text{impatto}} = 14 \text{ km/h}$



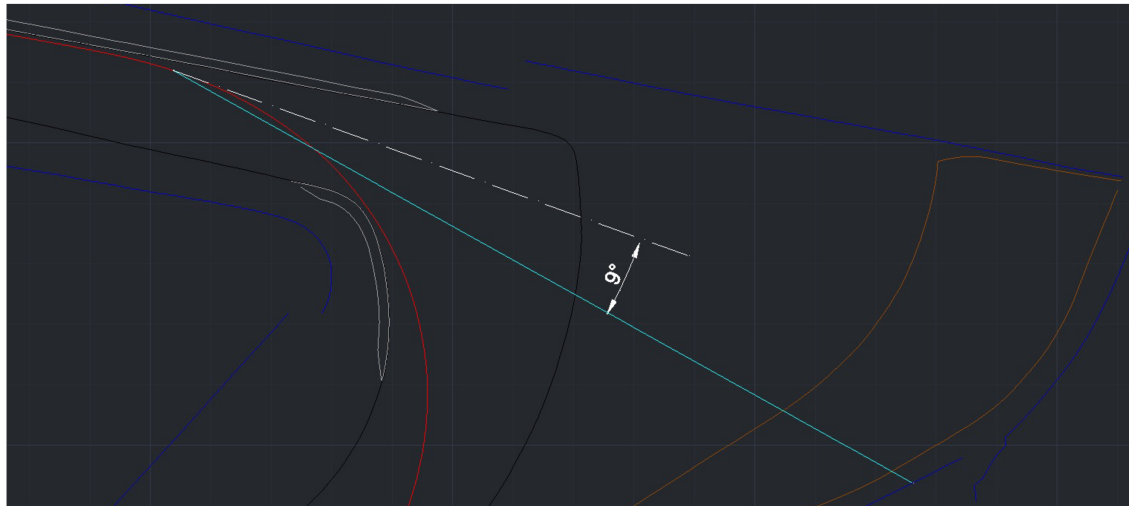
Curva 4

Gran Premio del
Bahrain 2017

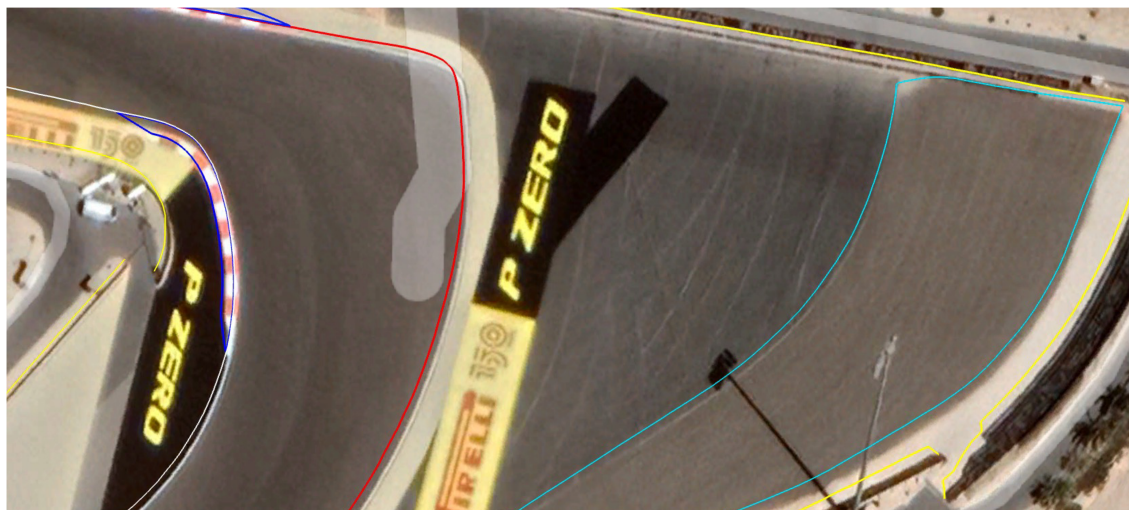
Gara

Il pilota affronta l'uscita frontalmente e non mantiene sempre le ruote bloccate, i valori di attrito ne sono testimoni.

L'impatto è stimato a velocità nulla.



Traiettoria del veicolo (azzurro) durante l'uscita di traiettoria, ed angolo di 9° che forma con la tangente (tratteggiata in bianco) alla traiettoria ideale, nel punto di inizio uscita.



Vista della curva 4 da Google Earth

Pendenza [°]	α			
	1,29			
Tempo [s]	t TOT	t asfalto.p	t ghiaia	t asfalto.fp
	5,66	3,38	1,10	0,78
Spazio [m]	S TOT	S asfalto.p	S ghiaia	S asfalto.fp
	133,50	117	14	2.5
Velocità [m/s]	Vi	Vf asfalto.p	Vf ghiaia	V impatto
	54,50	14,73	3,94	0
Accelerazione [m/s ²]	a media	a asfalto.p	a ghiaia	a asfalto.fp
	-9,63	-11,77	-7,20	-1,87
Coef. attrito [/]	μ medio	μ asfalto.p	μ ghiaia	μ asfalto.fp
	1.01	1,22	0,76	0,21

NOTA

asfalto.p = zona di asfalto della pista

asfalto.fp = zona asfalto fuori dalla pista

$V_{\text{impatto}} = 0 \text{ km/h}$

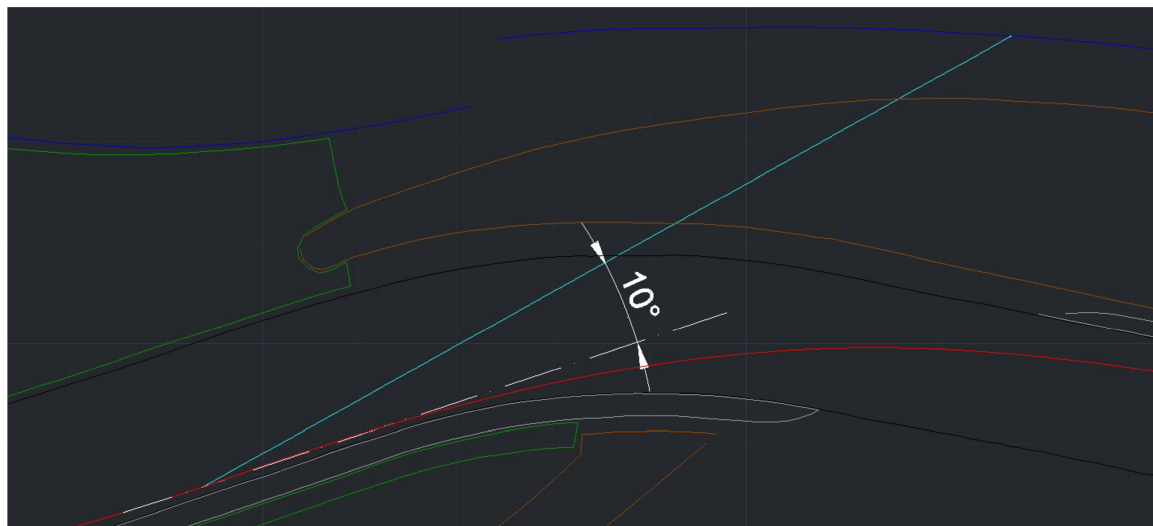


Curva 3

Gran Premio del
Bharain 2021

Gara

Considero le ruote bloccate a partire dalla fuoriuscita dalla traiettoria ideale. L'impatto avviene a velocità sostenuta, si considera una velocità finale non nulla



Traiettoria del veicolo (azzurro) durante l'uscita di traiettoria, ed angolo di 10° che forma con la tangente (tratteggiata in bianco) alla traiettoria ideale, nel punto di inizio uscita.



Vista della curva 2 da Google Earth

Pendenza [°]	α			
	1,82			
Tempo [s]	t TOT	t asfalto.p	t ghiaia	t asfalto.fp
	3,30	1,10	1,52	0,68
Spazio [m]	S TOT	S asfalto.p	S ghiaia	S asfalto.fp
	126	64	51	11
Velocità [m/s]	Vi	Vf asfalto.p	Vf ghiaia	V impatto
	67,68	48,68	18,42	6,51
Accelerazione [m/s ²]	a media	a asfalto.p	a ghiaia	a asfalto.fp
	-18,54	-17,27	-19,91	-6,60
Coef. attrito [/]	μ medio	μ asfalto.p	μ ghiaia	μ asfalto.fp
	1,92	1,79	2,06	0,71

NOTA

asfalto.p = zona di asfalto della pista

asfalto.fp = zona asfalto fuori dalla pista

$V_{\text{impatto}} = 23,44 \text{ km/h}$

Valori medi di attrito ottenuti trascurando la pendenza del tracciato

μ asfalto.p	σ asfalto.p	μ ghiaia	σ ghiaia	μ asfalto.fp	σ asfalto.fp
1.5735	0.2678	1.6149	0.5946	0.4427	0.2418

Valori medi di attrito ottenuti considerando la pendenza del tracciato

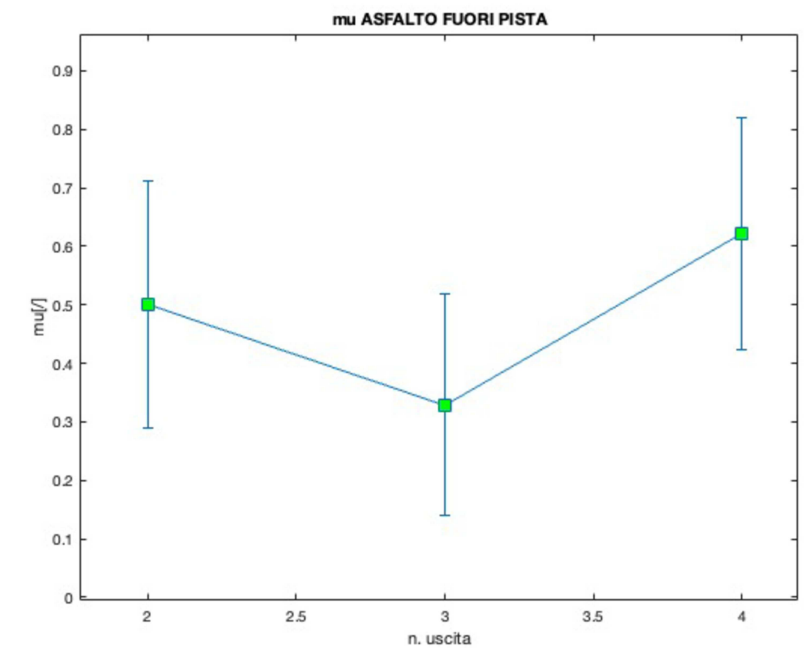
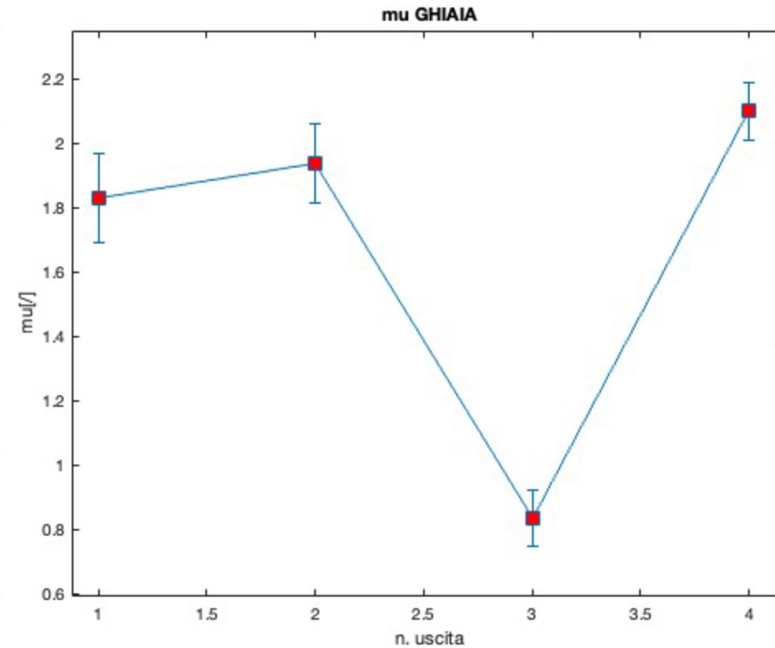
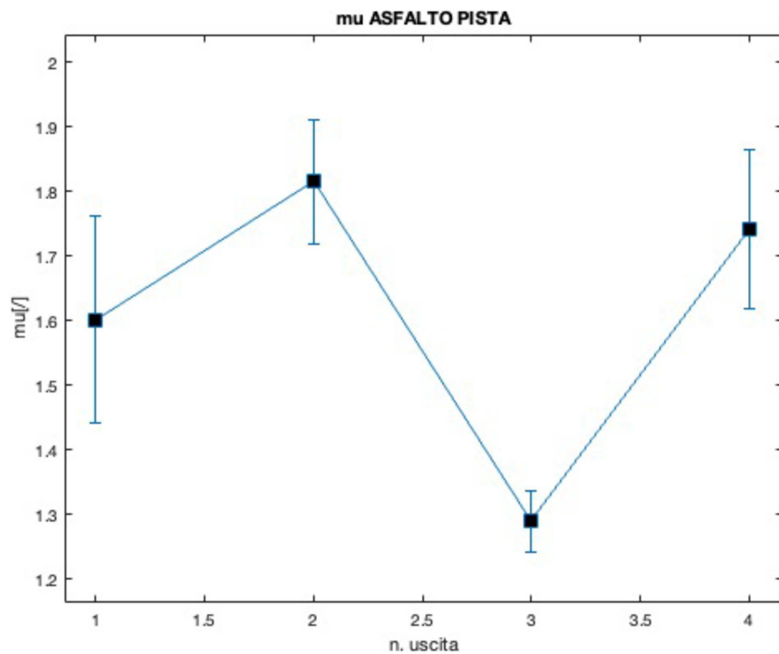
μ asfalto.p	σ asfalto.p	μ ghiaia	σ ghiaia	μ asfalto.fp	σ asfalto.fp
1.6067	0.2754	1.6482	0.6015	0.4753	0.2475

Valori medi di attrito ottenuti considerando la pendenza del tracciato e un campione di velocità iniziali

μ asfalto.p	σ asfalto.p	μ ghiaia	σ ghiaia	μ asfalto.fp	σ asfalto.fp
1.6119	0.1066	1.6766	0.1095	0.4835	0.1998

Per ottenere una visione più ampia della compatibilità dei dati ottenuti e eventualmente individuare qual è il caso che fa alzare la deviazione standard, si graficano i valori ottenuti nel terzo caso (quantità maggiore di dati)

I grafici riportano il valore medio dell'attrito per ogni zona della caduta, con una banda di incertezza pari ad uno scarto.



Si riportano in fine i valori medi dei coefficienti di attrito nei tre casi con i relativi intervalli di incertezza, calcolati con un rischio d'errore del 5%

Valori medi di attrito ottenuti trascurando la pendenza del tracciato

μ asfalto.p	μ ghiaia	μ asfalto.fp
1.57 \pm 0.43	1.61 \pm 0.95	0.44 \pm 0.60

Valori medi di attrito ottenuti considerando la pendenza del tracciato

μ asfalto.p	μ ghiaia	μ asfalto.fp
1.61 \pm 0.44	1.65 \pm 0.96	0.48 \pm 0.61

Valori medi di attrito ottenuti considerando la pendenza del tracciato e un campione di velocità iniziali

μ asfalto.p	μ ghiaia	μ asfalto.fp
1.612 \pm 0.031	1.677 \pm 0.031	0.484 \pm 0.031



GRAZIE PER L'ATTENZIONE