Politecnico di Torino

Corso di Laurea Magistrale

in Ingegneria Meccanica

A.a. 2021/2022

Sessione di Laurea Aprile 2022

# Analisi statica e dinamica del telaio di un kart da competizione

**Relatore**

*Prof. Luigi Garibaldi*

**Candidato**

*Davide Fischetti*

# Indice

1 INTRODUZIONE KARTING ..... 8
2 MOTIVAZIONE TESI ..... 9
3 DESCRIZIONE KART ..... 10
3.1 Motori ..... 10
3.2 Categorie ..... 12
3.3 Telaio ..... 13
3.4 Assale Posteriore ..... 14
3.5 Cuscinetti ..... 15
3.6 Sistema di sterzo ..... 16
3.7 Ruote ..... 18
4 MODELLAZIONE TELAIO FEM ..... 19
5 INFLUENZA DELLE DIMENSIONI DELL'ASSALE ..... 22
5.1 Analisi statica ..... 22
5.1.1 Confronto dimensioni assale ..... 24
5.1.2 Confronto tra "modello con cuscinetti rigidi" e "modello con cuscinetti basculanti" ..... 27
5.1.3 Confronto analisi torsionale posteriore ..... 31
5.1.4 Confronto analisi torsionale anteriore ..... 34
5.1.5 Confronto modello telaio con piastra motore di diversi materiali ..... 36
5.2 Analisi dinamica ..... 40
5.2.1 Telaio Nudo ..... 42
5.2.2 Confronto telaio con assale di diverso diametro ..... 44
5.2.3 Confronto modello telaio con cuscinetti rigidi e modello telaio con cuscinetti basculanti ..... 48
5.2.4 Prove dinamiche ..... 50
6 CONCLUSIONI MODELLAZIONE TELAIO ..... 54
7 DINAMICA DEL VEICOLO ..... 57

7.1 Contatto ruota suolo ..... 58
7.1.1 Descrizione pneumatico ..... 59
7.1.2 Modello a spazzola (Brush model) ..... 65
7.1.3 Modelli Empirici ..... 76
7.2 Distribuzione forze e momenti nel kart ..... 77
7.2.1 Comportamento longitudinale ..... 77
7.2.2 Comportamento laterale ..... 79
7.2.3 Modello Finale ..... 82
8 CONCLUSIONI ..... 85
9 BIBLIOGRAFIA E SITOGRAFIA ..... 88
10 ALLEGATI ..... 90
10.1 Allegato 1: Fiche D'Homologation Telaio Black Mirror……..91
10.2 Allegato 2: Regolamento Tecnico Karting……..94

***Indice delle figure***

Figura 3.1 A sinistra: Grafico potenza-coppia per giri al minuto ..... 11
Figura 3.2 A destra: Motore 2T Motore Parilla REEDJET 100cm$^3$ ..... 11
Figura 3.3. Piastra motore ..... 12
Figura 3.4 Misure telaio ..... 14
Figura 3.5. Durezze assali in funzione dei diversi diametri ..... 14
Figura 3.6. Dimensioni cuscinetti ..... 15
Figura 3.7 Sistema di sterzo ..... 16
Figura 3.8. Convergenza positiva, nulla e negativa delle ruote. ..... 17
Figura 3.9. A sinistra: Dimensioni caratteristiche pneumatici. A destra: Pneumatici VEGA slick. ..... 18
Figura 4.1. Proprietà acciaio 4340 ..... 20
Figura 4.2 Mesh telaio ..... 21
Figura 5.1 Configurazione di Carico fusello anteriore sinistro ..... 25
Figura 5.2 Configurazione di carico fusello anteriore destro ..... 25
Figura 5.3 Deformazione risultante telaio con assale da 40mm ..... 26
Figura 5.4 Condizioni di carico e di vincolo per confronto "modello con cuscinetti rigidi" e "modello con cuscinetti basculanti" ..... 28
Figura 5.5 Deformazioni risultanti per "modello con cuscinetti basculanii" ..... 28
Figura 5.6 In alto: Deformazioni flessionali albero e cuscinetti rigidi. In basso: deformazioni flessionale albero e cuscinetti basculanti ..... 30
Figura 5.7 In alto: Deformazioni flessionali albero con contatti "bonded". In basso: Deformazioni flessionali con contatti "No Separation" ..... 31
Figura 5.8. Configurazione carichi e vincoli torsione posteriore ..... 32

Figura 5.9. In alto: Risultati torsione posteriore telaio singolo. Nel centro: Risultati torsione posteriore contatti "Bonded". In basso: Risultati torsione posteriore contatti "No Separation" ..... 33
Figura 5.10 In alto: Deformazioni telaio nudo. In basso: Deformazioni telaio contatti "Bonded" ..... 35
Figura 5.11. Risultati analisi torsionale posteriore telaio con piastra alluminio ..... 37
Figura 5.12. Dall'alto verso il basso. Primo, secondo, terzo e quarto modo proprio ..... 42
Figura 5.13 Dall'alto verso il basso: Primo, secondo terzo e quarto modo proprio del telaio con assale di diametro 50mm (cuscinetti rigidi) ..... 47
Figura 5.14 Dall'alto verso il basso: Primo, secondo, terzo e quarto modi propri del modello di telaio con cuscinetti basculanti..... 49
Figura 5.15 Sistema di riferimento..... 50
Figura 5.16 Configurazione modello con masse puntiformi..... 51
Figura 5.17 . Dall'alto verso il basso: Primo, secondo, terzo e quarto modi propri del modello di telaio con masse e inerzie del pilota e del motore..... 53
Figura 7.1. Sistema di riferimento ISO8855 (Normativa ISO 8855, 2011) ..... 58
Figura 7.2Angolo di Caster ..... 59
Figura 7.3. Sistema di coordinate ruota, angolo di deriva e angolo di camber ..... 59
Figura 7.4 Battistrada pneumatico da corsa slick e sensore di temperatura in prossimità del battistrada ..... 60
Figura 7.5 Angolo di deriva, impronta di contatto e forza laterale di deriva ..... 61
Figura 7.6 Forza laterale in funzione dell'angolo di deriva per un pneumatico per un veicolo da corsa (Race Car Vehicle Dynamics, 1995)..... 62
Figura 7.7 Angolo di Caster ..... 63
Figura 7.8 Angolo di Camber (negativo) ..... 63
Figura 7.9 Regolazione angoli di Camber e Caster tramite boccola eccentrica..... 64
Figura 7.10 Braccetto e bacchette che costituiscono il sistema di Ackermann..... 65
Figura 7.11 Schema del cinematismo che compone l'angolo di Ackermann..... 65
Figura 7.12 Modello a spazzola (H. Pacejka, “Tire and Vehicle Dynamics” Butterworth-Heinemann, 2012) ..... 66
Figura 7.13 Condizioni di rotolamento. (Vehicle Dynamics, Chalmers University of Technology) ..... 67

Figura 7.14 Distribuzione delle pressioni (Vehicle Dynamics, Chalmers University of Technology) ..... 67
Figura 7.15 Coordinata locale ξ relativa all'impronta di contatto (Vehicle Dynamics, Chalmers University of Technology) ..... 68
Figura 7.16 Andamento della forza longitudinale in funzione dello scorrimento sx (Vehicle Dynamics, Chalmers University of Technology) ..... 69
Figura 7.17 Distribuzione delle tensioni lungo impronta di contatto ..... 71
Figura 7.18 Sistema di coordinate in funzione dell'angolo di sterzata ..... 72
Figura 7.19 Distribuzione delle pressioni nella deformazione laterale (H. Pacejka, "Tire and Vehicle Dynamics" Butterworth-Heinemann, 2012) ..... 73
Figura 7.20 A sinistra: Influenza angolo di camber sulla forza laterale (Vehicle Dynamics, Chalmers University of Technology). A destra: Angolo di Camber visualizzato nel kart 74
Figura 7.21 Cerchio di Aderenza (Vehicle Dynamics, Chalmers University of Technology) ..... 75
Figura 7.22 Magic Formula, parametri (Vehicle Dynamics, Chalmers University of Technology) ..... 76
Figura 7.23 Reazioni vincolari nel piano XZ ..... 77
Figura 7.24 Forze agenti nei fuselli ..... 78
Figura 7.25 Cinematismo costituente l'Angolo di Ackermann (Vehicle Dynamics, Chalmers University of Technology) ..... 79
Figura 7.26 Forze agenti sulle ruote nei diversi sistemi di riferimento (Vehicle Dynamics, Chalmers University of Technology) ..... 80
Figura 7.27. Modello di kart con velocità di avanzamento, velocità laterale e velocità d'imbardata ω ..... 82
Figura 7.28. Vista dall'anteriore del kart. Coordinate coerenti con il sistema di riferimento ISO 8855 ..... 84

***Indice delle Tabelle***

Tabella 1. Proprietà assali di diverse misure ..... 24
Tabella 2. Confronto rigidezze telaio con assali differenti ..... 26
Tabella 3. Risultati contatti "Bonded" e "No separation" ..... 29
Tabella 4. Risultati Torsione Posteriore ..... 34
Tabella 5. Risultati torsione anteriore. ..... 36
Tabella 6. Risultati deformazione telaio con piastre di diverso materiale. ..... 38
Tabella 7. Riepilogo risultati vari confronti tra modelli ..... 39
Tabella 8. Frequenze proprie telaio con assali di diverse dimensioni ..... 44
Tabella 9. Confronto frequenze proprie modello con cuscinetti rigidi e modello con cuscinetti basculanti. ..... 48
Tabella 10. Frequenze proprie del modello con massa e inerzie del pilota e del motore ..... 52

# 1 INTRODUZIONE KARTING

Il karting, il cui nome deriva dall'inglese "cart" (carretto), è una vera e propria specialità dello sport motoristico. I piloti gareggiano con i rispettivi kart, piccoli veicoli a quattro ruote con un telaio tubolare in acciaio e con un motore di piccola cilindrata. Essendo il kart un veicolo privo di sospensioni e di differenziale, è riservato al telaio ricoprire queste funzioni, ed è per questo che viene progettato con una configurazione tale da permettere una corretta aderenza con il terreno, evitando così che l'assenza di sospensioni causino urti deformanti. I kart sono veicolo abbastanza recenti. Nascono nel 1956 negli Stati Uniti grazie ad Art Ingels, un tecnico della Kurtis Kraft, casa costruttrice di auto, che utilizzando i materiali residui di una vecchia falciatrice creò un piccolo veicolo a motore per il figlio. L'idea fu così originale che un anno dopo diversi esemplari di kart auto costruiti si sfidarono in un grande parcheggio di Pasadena. Subito dopo la Go-Kart Manufacturing Company inizio a produrre e vendere modelli perfezionati.

La prima competizione internazionale si disputò a Nassau nel 1959. Il successo del karting è da ricercarsi nei costi contenuti dei kart rispetto alle auto da corsa, le quali diventarono sempre più costose. Il karting molte volte viene utilizzata come rampa di lancio per una carriera di pilota automobilistico. Molti dei più grandi piloti di F1, come Michel Schumacher, Ayrton Senna, Alain Prost, Fernando Alonso, Lewis Hamilton sono stati kartisti di livello internazionale. [1]

I kart sono veicoli che utilizzano motori di piccola cilindrata. I motori utilizzati variano da motori a 4 tempi con basse potenze, circa 12 cavalli, utilizzati a livello dilettantistico, sino ad arrivare a motori 2T 125 $cm^3$ che premettono di passare da 0 a 100 Km/h in meno di quattro secondi.

Negli ultimi anni, con l'avvento dei motori elettrici, anche il karting si sta spostando verso una direzione priva di motori a combustione. Al momento non esiste ancora nessuna competizione che utilizzi motori elettrici e quest'ultimi sono utilizzati solo nel settore del noleggio. Il lato positivo è che grazie all'avvento del motore elettrico vi siano minor emissioni, minor inquinamento, mancanza di fumo e una fortissima diminuzione del motore. Inoltre, il motore elettrico permette delle accelerazioni maggiori rispetto al motore a scoppio, ma paga la bassa durata della batteria ed è meno agile nei tornanti e nelle curve strette.

# 2 MOTIVAZIONE TESI

In questo lavoro di tesi viene presentata una metodologia, basata sull'analisi statica e dinamica, per assistere la progettazione e la messa appunto di moderni telai di kart. L'obbiettivo è quello di studiare in modo scientifico il comportamento del telaio di un kart e di fornire dei risultati che possano aiutare a risolvere qualche dubbio progettuale che ruota intorno al mondo del karting. In particolare, si è cercato di definire il telaio in termini di rigidezza torsionale e di frequenze proprie. È bene ricordare come, essendo il kart un mezzo privo di sospensioni e di differenziale, il telaio diventi il collegamento principale tra le sensazioni di guida del pilota e le risposte, in termini di prestazioni, nel comportamento del veicolo. Non bisogna dimenticare che la progettazione di un kart deve avere come obbiettivo primario il miglioramento delle performance della macchina nei circuiti, ecco perché diventa importante capire a fondo le caratteristiche dinamiche e i possibili rischi connessi. Per far ciò si è studiato il comportamento dinamico del telaio e si è cercato di stabilire quali siano le forze agenti durante il moto.

Il primo passo effettuato in questo lavoro di tesi è stato quello di ricostruire il modello di kart in un ambiente cad tenendo ben a mente i principali cinematismi che li caratterizzano. Per la modellazione è stato utilizzato il software SolidWorks e rappresenta il punto di partenza per uno studio agli elementi finiti. Successivamente, tramite l'utilizzo di Ansys Workbench, si sono simulati i comportamenti del telaio variando alcune configurazioni. Si è scelto di dar maggiore rilevanza soprattutto alle dimensioni dell'assale posteriore e alle condizioni dei carichi e dei vincoli anche per spiegare la loro importanza all'interno del sistema kart

Infine, tramite l'utilizzo di modelli teorici, si sono analizzate le varie forze e momenti presenti durante il tragitto. Partendo dalle forze generate dal contatto ruota-suolo e definite nel sistema di riferimento delle ruote, si sono trasferite all'intero veicolo con l'obbiettivo di definire quali parametri influenzino maggiormente la distribuzione dei carichi sull'intero telaio.

# 3 DESCRIZIONE KART

In questo capitolo verranno descritti i componenti principali di un kart, nello specifico il telaio verrà descritto riferendosi al telaio esistente" Black Mirror", di cui si allega la fiche di omologazione. [Allegato 1]. È utile ricordare che molte delle geometrie, dei materiali, degli spessori e dei pesi presenti all'interno di questa descrizione sono vincolati dalle limitazioni imposte dal regolamento Aci Sport [Allegato2]. Alcuni componenti come il carburatore, le varie protezioni, i tubi di scarico e aspirazione non verranno descritti in questa tesi.

Le principali misure del kart sono: il passo, la carreggiata anteriore e quella posteriore. La prima identifica la distanza tra l'asse delle ruote anteriori con quelle posteriori, generalmente misura intorno ai 950 mm, le variazioni possono essere di una decina di millimetri. Aumentando l'interasse si perde in reattività ma si ottiene una miglior guida in curva. La carreggiata anteriore misura la distanza tra le estremità delle ruote anteriori. Maggiore è la carreggiata migliore è il grip nelle curve ad ampio raggio ma si perde stabilità nei cambi di direzione rapidi. Una carreggiata anteriore stretta permette una migliore stabilità nelle curve a corto raggio ma richiede una maggiore attenzione nelle curve veloci. La carreggiata anteriore è una misura che può essere regolata spostando i distanziali vicino alle ruote. Infine, la carreggiata posteriore è la misura della distanza tra le estremità delle ruote posteriori. Anche in questo caso l'allargamento o il restringimento di questa misura genera dei pro e dei contro. In particolare, un aumento della carreggiata posteriore favorisce il sollevamento della ruota interna durante una curva aumentando la stabilità ma riducendo la trazione in uscita in curva. [2]

## 3.1 Motori

Le categorie dei kart si possono dividere in base al motore utilizzato. Le principali classificazioni dei motori sono:

1. Motori a 4T (tempi). Utilizzati principalmente dai dilettanti privi di esperienza o per circuiti molto lunghi. Possono essere di due tipologie: industriali e racing. I motori 4T industriali erogano una potenza limitata, minore di 12CV. I motori 4T racing sono utilizzati soprattutto nei campionati dilettantistici.

2. I motori 2T 60 cm³, mono marcia con raffreddamento ad aria, con potenze ridotte 11Cv, sono utilizzati a livello dilettantistico e nella categoria MINI
3. I motori 2T 100 cm³ racing erogano una potenza di oltre 27 CV e possono raggiungere regimi di rotazione superiori ai 20000 giri/min. Grazie al peso ridotto, circa 145kg tra kart e pilota, nonostante abbiano una potenza ridotta, raggiungo prestazioni estremamente interessanti. Figura 3.1 e 3.2.
4. I motori 2T 125 cm³ racing della famiglia KF si dividono in 16.000 Rpm (KF1), 15.000 Rpm (KF2), 14.000 Rpm (KF3). Erogano una potenza compresa fra i quasi 40 CV del KF1 ed i 26 CV del KF3
5. I motori 2T 125 cm³ racing della famiglia KZ sono dotati di cambio manuale sequenziale a 6 rapporti. Sono in grado di fornire una potenza superiore ai 46 CV a 13000 Rpm. Grazie alla potenza disponibile e al peso ridotto sono permetto di avere ottime prestazioni, riescono ad ottenere accelerazioni nel brevi paragonabili alla F1.

6. I motori 2T 125 cm³ della famiglia TaG erogano potenze comprese fra i 20 ed i 30 CV. Sono dotati di rapporto di trasmissione fisso (tranne alcune recenti versioni dotate di 2 rapporti prodotto dalla Rotax) come i motori 2T 100 cm³ racing; ma a differenza di questi sono dotati di frizione centrifuga ed avviamento elettrico per facilitarne l'utilizzo (da cui il nome TaG: Touch and Go, in Italiano "premi e parti"). Le prestazioni dei kart equipaggiati con questi motori sono leggermente inferiori a quelle dei comuni motori 2T 100 cm³. Racing, a causa del peso delle batterie che alimentano il motorino di avviamento.[3]

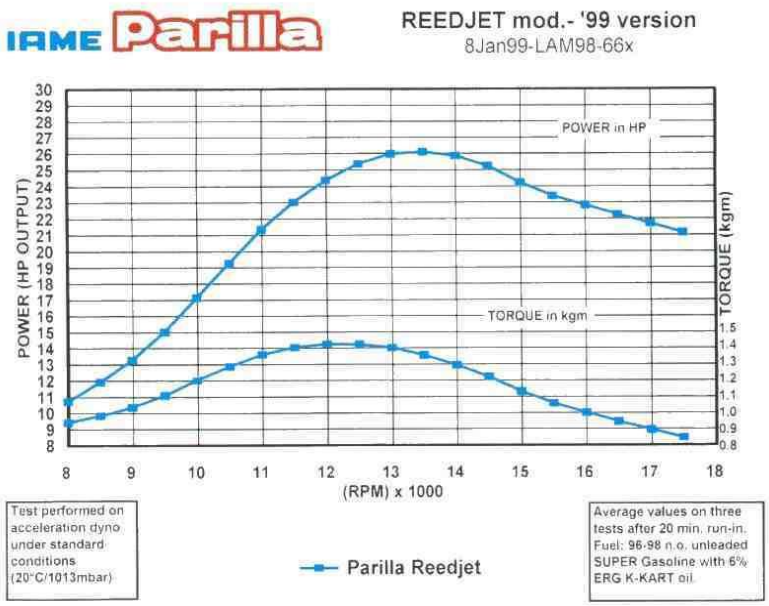


*Figura 3.2 A sinistra: Grafico potenza-coppia per giri al minuto [4]*

*Figura 3.1 A destra: Motore 2T Motore Parilla REEDJET 100cm³ [4]*

Il motore è collegato al telaio grazie ad una piastra motore, riportata in figura 3.3. Le dimensioni della piastra motore dipendono dal diametro dei tubi del telaio; generalmente le piastre presentano una lunghezza di circa 120mm e una larghezza di circa 90mm e spesso sono inclinate per favorire la ventilazione del motore. Le piastre motore sono in alluminio o in magnesio. Nel capitolo 5.2.2 le piastre verranno utilizzate come riferimento per la massa del motore.

*Figura 3.3. Piastra motore*

## 3.2 Categorie

Il karting si divide in classi e categoria a seconda dei motori e dei telai utilizzati. Riferendosi al regolamento tecnico, le classi principali sono:

1. Classe KZ1: utilizza motori a 2T da 125 cm³ che producono circa 46-50 CV con cambio a sei marce. La categoria KZ1 è la più veloce e permette rispetto alla KZ2 l'utilizzo di cambio manuale o elettromeccanico. Il peso minimo è di 170kg ed è accessibile ai piloti dai 15 anni in su. I telai sono con tubi di diametro di 32 mm e assali da 50 mm.
2. Classe KZ2: utilizza motori a 2T da 125 cm³ che arrivano ad un massimo di 45 CV. Anche in questo caso i motori sono dotati di cambio a sei marce. L'unica differenza tra KZ1 e KZ2 è che nella KZ2 il cambio deve essere manuale e meccanico senza utilizzo di servosistemi. Il peso minimo è di 175 kg. Anche in questo caso il telaio è costituito da tubi da 30 o 32 mm.
3. Classe KF1: categoria ai massimi livelli nel karting. Utilizza motori a 2T da 125 $cm^3$ (TAG) in grado di fornire una potenza di circa 40 CV. Il peso minimo è di 160 kg con pilota. I motori dispongono di avviamento elettrico e frizione. Le sottoclassi sono KF2 e KF3.

4. Classe MINI: utilizzano motori da 60 $cm^3$, raffreddato ad aria con avviamento on board (TAG) e telaio con tubi di diametro di 28mm rientra in questa categoria il telaio “Black Mirror” [5]

## *3.3 Telaio*

Il telaio, come accennato in precedenza, è l’elemento fondamentale che costituisce un kart. Dalla geometria, dalla configurazione e dalla scelta dei materiali dipendono tutte le rigidezze presenti nel telaio. Negli anni passati la configurazione del telaio è stata al centro di continue modifiche ma in linea di massima la forma base del telaio rimane la stessa per la maggior parte dei modelli. Tutti i telai devono essere omologati dalla federazione CIK-FIA [6], che vincolano alcune dimensioni come: passo minimo, carreggiate, lunghezza e larghezza totale. Il materiale con cui sono costituiti i telai sono anch’essi soggetti alle limitazioni del regolamento. In particolare, devono essere dei “materiali magnetici”, e generalmente si tratta di acciaio legati al Cromo-Molibdeno, che garantiscono un peso leggero ma buone caratteristiche di flessibilità e alta resistenza. Il processo produttivo dei telai parte dalla modellazione dei tubi utilizzando il processo di roll forming. Ottenuti i tubi attraverso saldature TIG-MIG si uniscono dando vita al telaio completo. [7]. Per il telaio possono essere utilizzati diversi diametri di tubi, i più comuni hanno diametro da 28,30 0 32 mm. Gli spessori variano intorno ai 2 o 3 mm. A parità di materiale variare la dimensione dei diametri de tubi può garantire una maggiore o minore rigidezza torsionale del telaio. Generalmente i tubi da 32 sono utilizzati nelle classi KZ mentre quelli da 30 sono utilizzati prevalentemente nei mono-marcia. Nei telai si cerca un compromesso tra il peso e la rigidezza desiderata. Infatti, un telaio con un peso leggero sicuramente avrà prestazioni migliori rispetto ad uno più pesante; ma il risultato non è così scontato, poiché quello leggero è soggetto a sollecitazioni maggiori con il rischio di danneggiare o compromettere la struttura stessa. Nel nostro caso il telaio preso in considerazione è il “black mirror” di cui si allega la fiche di omologazione. Questo telaio presenta tubi di diametro di 28 mm per uno spessore di 2 mm come riportato in figura 3.4.

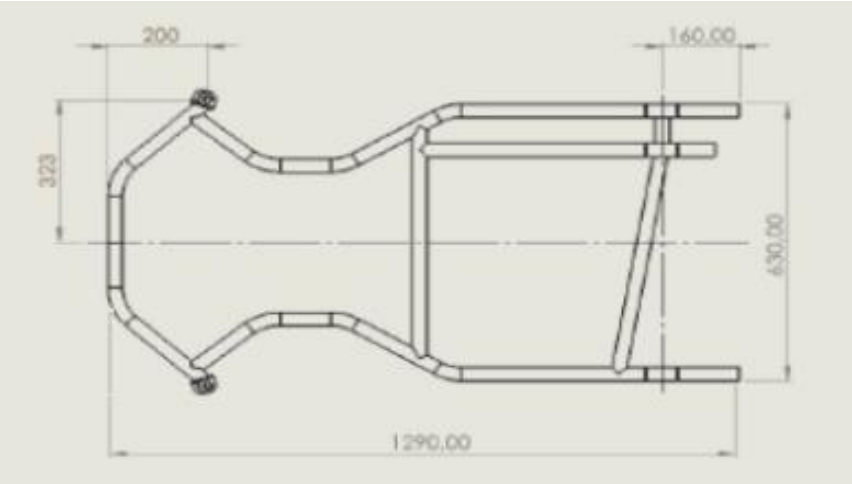



*Figura 3.4 Misure telaio*

## *3.4 Assale Posteriore*

L'assale posteriore è l'elemento che, tramite il gruppo di trasmissione, trasmette il moto dal motore alle ruote. L'assale è solitamente un tubo cavo, con diametri che vanno dai 30 ai 50 mm in base alle categorie. Nel regolamento si evidenzia come, a parità di materiale utilizzato, aumentando il diametro lo spessore minimo del tubo diminuisca, variando così di poco il peso dell'assale. Nei kart l'assale collega direttamente gli pneumatici con il telaio sostituendosi così in parte alle sospensioni. L'assale, date, le sue dimensioni è l'elemento che conferisce maggiore rigidezza al telaio, per questo motivo la scelta del diametro dell'assale varia le caratteristiche del telaio. Come da regolamento, l'assale deve essere in "materiale magnetico", generalmente acciaio al carbonio. Esistono diverse durezze per l'assale; le più comuni sono: duro H, medio M e morbido S. Le varie durezze, misurate mediante la scala Brinell, sono riportate nella figura 3.5.

| Ø30 | | Ø40 | | Ø50 2mm | |
|---|---|---|---|---|---|
| S | HB 90 - 100 | S | HB 120 - 130 | S20 | HB 60 - 70 |
| M | HB 140 - 150 | M | HB 170 - 180 | T6 | HB 110 - 120 |
| H | HB 210 - 220 | H | HB 180 - 200 | M20 | HB 160 - 170 |
| | | K | HB 210 - 220 | T2 | HB 200 - 210 |

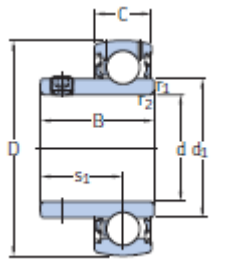
*Figura 3.5. Durezze assali in funzione dei diversi diametri [8]*

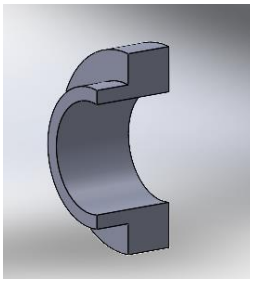
Come si vedrà nel capitolo 5, essendo l'assale un elemento molto rigido, le variazioni delle prestazioni del telaio dipendo maggiormente dalla scelta del diametro dell'assale rispetto alla scelta della durezza dell'assale.

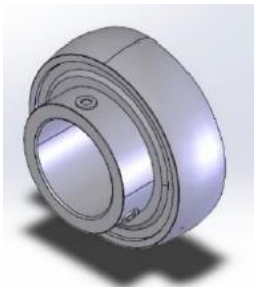
Le dimensioni dei diametri degli assali utilizzati variano dai 30 ai 50mm e tutte le loro proprietà meccaniche sono riportati a pagina 24 nella Tabella 1.

## 3.5 Cuscinetti

I cuscinetti permettono di collegare il telaio con l'assale. Generalmente sono presenti tre cuscinetti, uno sul lato sinistro e due sul lato destro dell'assale, ma esistono anche configurazioni in cui se ne adottano solamente due. I cuscinetti permettono di ridurre gli attriti e l'usura causata dai contatti striscianti e volventi durante il moto. I cuscinetti utilizzati sono radiali a sfere sigillate, presentano un anello esterno convesso e un anello interno con un apposito dispositivo di bloccaggio per facilitare il montaggio sull'albero. Per la modellazione in SolidWorks sono scaricati direttamente dal sito del produttore, in questo caso SKF, igura 3.6. A causa della geometria complessa e della mesh altrettanto complessa che si sarebbe generata, è stato scelto di modellizzarli in Ansys come dei dischi forati aventi le stesse dimensioni, questo discorso è stato citato anche nel capitolo 5. In figura vengono riportate le dimensioni dei cuscinetti utilizzati nelle varie prove. [9]





| Dimensions | | | | | | | Basic load ratings dynamic | static | Fatigue load limit | Limiting speed with shaft tolerance h6 | Mass | Designation |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| d | D | B | C | $d_1$ ≈ | $s_1$ | $r_{1,2}$ min. | C | $C_0$ | $P_u$ | | | |
| mm | | | | | | | kN | | kN | r/min | kg | – |
| 30 | 62 | 30,2 | 18 | 39,7 | 21 | 0,6 | 19,5 | 11,2 | 0,475 | 6 300 | 0,26 | ▸ YAT 206 |
| 40 | 80 | 36 | 21 | 51,8 | 25,3 | 1 | 30,7 | 19 | 0,8 | 4 800 | 0,5 | ▸ YAT 208 |
| 45 | 85 | 37 | 22 | 56,8 | 25,8 | 1 | 33,2 | 21,6 | 0,915 | 4 300 | 0,56 | ▸ YAT 209 |
| 50 | 90 | 38,8 | 22 | 62,5 | 27,6 | 1 | 35,1 | 23,2 | 0,98 | 4 000 | 0,63 | ▸ YAT 210 |

*Figura 3.6. Dimensioni cuscinetti [9]*

## 3.6 Sistema di sterzo

Il sistema di sterzo permette di collegare la rotazione del volante effettuata dal pilota con la rotazione desiderata delle ruote. Il sistema di sterzo è composto da: volante, piantone dello sterzo, una flangia, due bacchette, due braccetti e i due fuselli, figura 3.7. Dando una rotazione al volante si fa ruotare il piantone e la flangia collegata nella parte terminale. Sulla flangia sono presenti dei fori dove sono collegate due bacchette. A seconda della rotazione una bacchetta si allunga verso il fusello, aprendo la ruota, mentre l'altra si ritira portando con sé il fusello che fa chiudere la ruota verso l'interno.

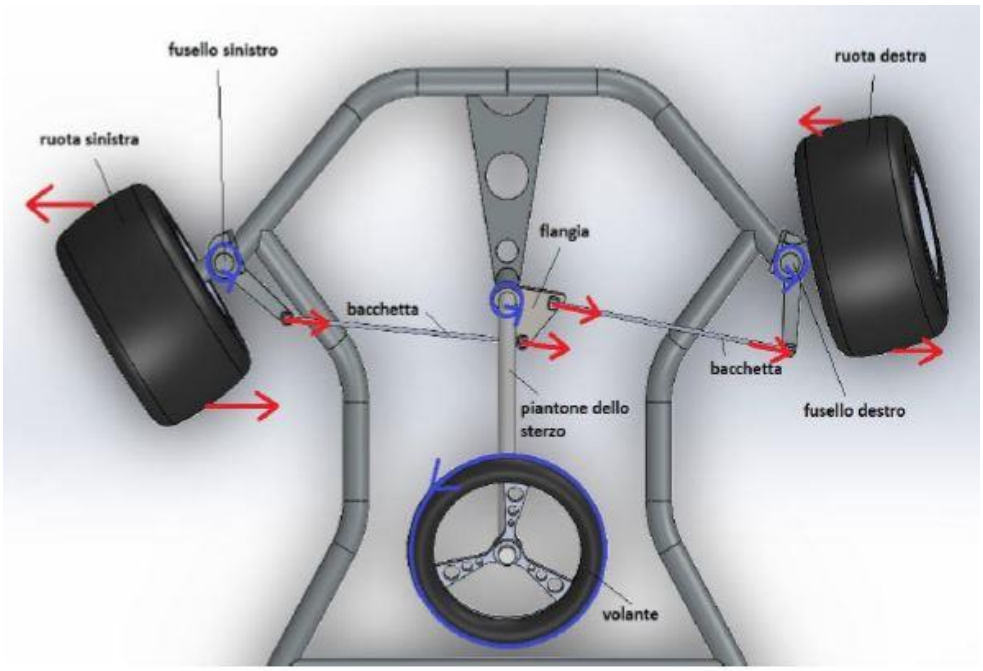



*Figura 3.7 Sistema di sterzo*

Il sistema di sterzo è configurato per avere una certa convergenza delle ruote. Per convergenza si intende l'angolo compreso tra il piano di mezzeria degli pneumatici dello stesso asse e l'asse longitudinale del veicolo. Si parla di convergenza positiva, o chiusa, quando la punta degli pneumatici delle ruote anteriori è orientata verso l'interno, divergenza o convergenza negativa (aperta) se punta verso l'esterno e convergenza neutra se i due

pneumatici sono paralleli all'asse longitudinale del veicolo, come si evidenzia dalla figura 3.8.

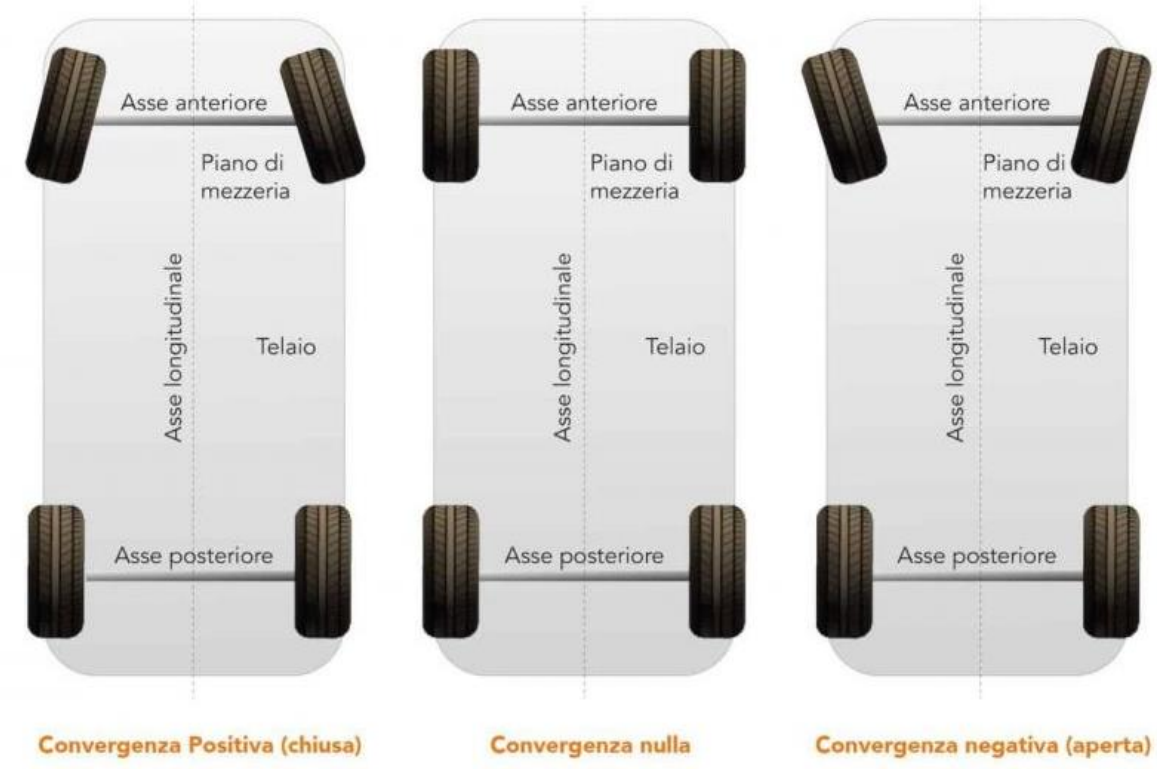



*Figura 3.8. Convergenza positiva, nulla e negativa delle ruote.*

Una convergenza negativa rende la guida più stabile garantendo maggiore aderenza nelle curve. È possibile modificare la geometria dello sterzo senza modificare l'angolo di convergenza, ossia dare angoli di sterzo differenti alla ruota anteriore destra e a quella sinistra. In questo modo si po' garantire una maggiore performance dell'intero veicolo nelle curve.

Questo effetto cinematico è possibile poiché sulla flangia sono presenti diversi fori, scegliendo la configurazione più adatta si può aumentare o diminuire l'interasse tra i fori, andando così a creare angoli di sterzo differenti tra le ruote anteriori. Per mantenere la convergenza desiderata le dimensioni delle bacchette sono regolabili. [10]

## 3.7 Ruote

I kart utilizzano pneumatici slick, cioè con battistrada liscio, con larghezze di 7,1 pollici e diametro di 11 pollici per quelle posteriori e una larghezza di 4.6 pollici per un diametro di 10 per quelle anteriori. Anche in questo caso le dimensioni sono normate dal regolamento tecnico. Si utilizzano gli slick poiché non presentano scanalature e permettono di avere maggiore aderenza possibile con l'asfalto andando a massimizzare la trazione. A causa della mancanza delle scanalature sugli pneumatici, queste gomme non possono essere utilizzate per la normale guida su strada poiché non garantirebbero la sufficiente aderenza in caso di pioggia o acqua sull'asfalto. Nelle competizioni, qualora iniziasse a piovere, si utilizzano le gomme scanalate, rain.

Gli pneumatici sono montati su cerchi da 5 o 6 pollici di diametro, solitamente sono in alluminio o magnesio. Il materiale con cui sono fatti i cerchi influenza la temperatura delle gomme a causa della diversa conducibilità termica. Figura 3.9.

La forma, il peso e i materiali utilizzati permettono alle gomme di avere prestazioni eccezionali, basti pensare che nelle categorie internazionali si possono avere accelerazioni laterali superiori ai 2 g nelle curve veloci, tali gomme così performanti richiedono al pilota delle prestazioni fisiche molto rilevanti.

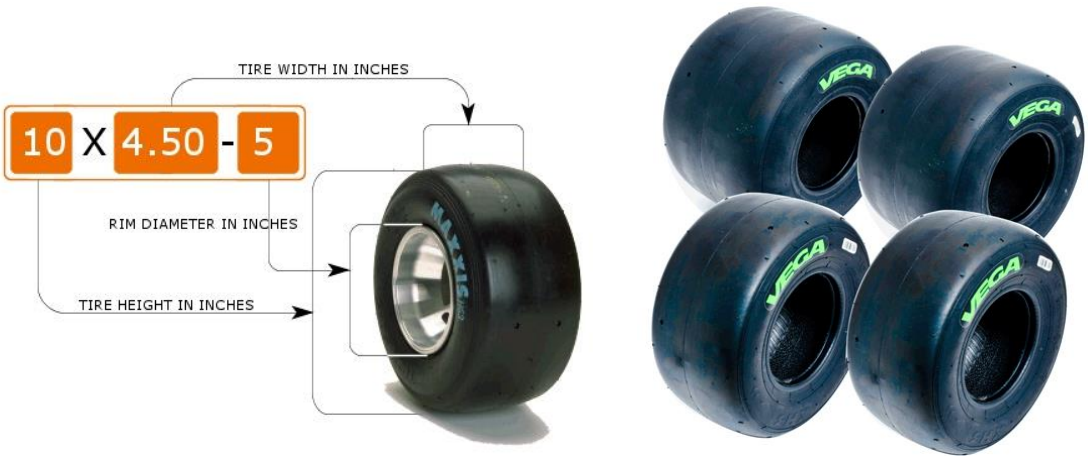



*Figura 3.9. A sinistra: Dimensioni caratteristiche pneumatici. A destra: Pneumatici VEGA slick [11].*

# 4 MODELLAZIONE TELAIO FEM

La prima parte di digitalizzazione del kart prevede la modellazione dei componenti in un ambiente cad. In questo caso si è utilizzato il software Solidworks. Molti dei componenti presenti nell'assieme finale, come i tubi del telaio e il manichino, sono stati acquisiti dal sito [13] e modificati in base alle nostre esigenze. I cuscinetti, invece, sono stati acquisiti direttamente dal sito del produttore, in questo caso SKF. Terminata la creazione del modello Solidworks, si è passati ad una analisi agli elementi finiti (FEM) del telaio sul programma Ansys Workbench.

L'analisi FEM è diventato uno strumento utilissimo nella progettazione recente, poiché permette di poter risolvere sistemi con geometrie complesse che richiederebbero condizioni al contorno troppo difficili per essere analizzate con metodologie analitiche. Nelle analisi FEM è possibile creare simulazioni variando la geometria anche di piccoli dettagli, andando così ad ottenere componenti con caratteristiche tecniche molto simili a quelle reali desiderate. In questo modo si sostituisce la prototipazione fisica riducendo così i tempi e i costi durante la progettazione di un prodotto.

Ansys permette di effettuare moltissime analisi, come ad esempio: analisi strutturali, modali, termiche, fluidodinamiche e anche analisi acustiche e armoniche.

Il metodo agli elementi finiti si basa su un procedimento numerico che permette di risolvere un sistema di equazioni alle derivate parziali in forma integrale su un dominio finito. Per poter applicare questo metodo ad un componente è necessario suddividere il componente in tanti piccoli pezzi, chiamati elementi, in modo da ottenere un problema discreto avente un numero finito di equazioni e di incognite risolvibili numericamente. Si crea così quella che viene chiamata "mesh", ovvero la discretizzazione di un modello. I vertici degli elementi sono i nodi, ed è in questi punti che vengono calcolate le componenti dell'equazione incognita. [12]

L'analisi FEM si suddivide in tre fasi, prepocessing, processing e post processing

Il preprocessing è la parte iniziale dell'analisi. In questa fase viene creata la geometria che può essere composta da linee, aree o volumi e viene definito il materiale utilizzato.

Per passare il modello da Solidworks ad Ansys è necessario salvare i file in formato "iges" o in "parasolid". Una volta ottenuta il file nel formato adatto, è possibile importare la geometria

nell'ambiente Design Modeler, il quale ricrea il cad per poterlo utilizzare in Ansys. Nella schermata principale di Ansys è possibile definire il materiale utilizzato inserendolo nel campo "Engineering Data"; nel nostro caso si è utilizzato un acciaio al cromo-molibdeno 4340, come evidenziato in Figura 4.1.

| No. | Material Properties | Values |
|---|---|---|
| 1 | Yield strength | 470 MPa |
| 2 | Tensile strength | 745 MPa |
| 3 | Modulus elastisitas | 205 GPa |
| 4 | Poisson's ratio | 0.258 |
| 5 | Mass density | 7850 kg/m$^3$ |

*Figura 4.1. Proprietà acciaio 4340 (Ansys Workbench)*

Importata la geometria e definito il materiale, il passo successivo è la creazione della mesh o griglia. Questa è una fase centrale della simulazione poiché i risultati ottenuti dipendono direttamente dalla tipologia e dalla dimensione della mesh utilizzata. La dimensione della griglia deve essere un compromesso tra la buona attendibilità dei risultati e il tempo di calcolo; infatti, una mesh molto fitta fornisce risultati affidabili ma allunga di molto i tempi computazionali. In tutti i modelli è stata utilizzata una mesh con elementi di dimensione massima di 8mm, figura 4.2

La tipologia degli elementi è un altro parametro che influenza i risultati. I principali elementi si dividono in: elementi solidi, tetragonali, esagonali, elementi shell ed elementi beam. I primi hanno tre gradi di libertà, cioè le tre traslazioni, mentre gli altri due hanno sei gradi di libertà, tre traslazionali e tre rotazionali. Nel nostro caso si utilizzati elementi tetragonali con funzioni di forma del secondo ordine, ossia un un'interpolazione quadratica per calcolare la soluzione incognita nei nodi.

Dopo aver definito la mesh è possibile modificare la tipologia di contatti tra i vari elementi. I contatti maggiormente utilizzati sono stati: “bonded”, dove si simula il contatto come se i due componenti fossero incollati e il contatto “no separation” che permette uno scorrimento tangenziale tra i due componenti . Nel capitolo 5 verranno valutate le influenze delle tipologie di contatto nei risultati.

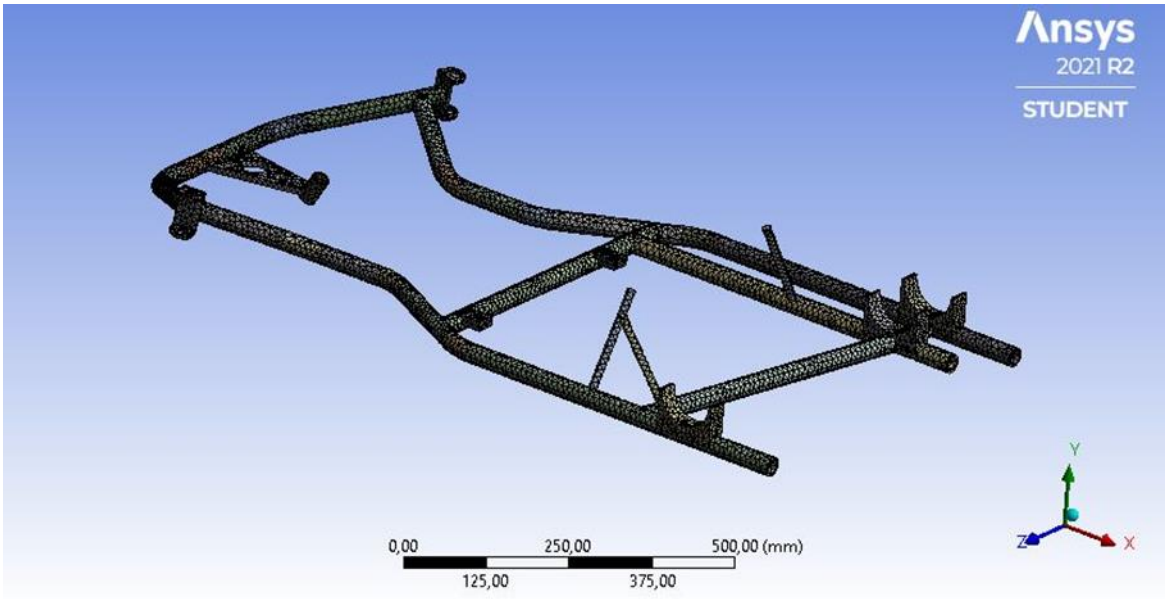



*Figura 4.2 Mesh telaio*

Durante il processing sono applicate le condizioni al contorno che corrispondono all’applicazione dei carichi e dei vincoli. È possibile applicare le condizioni al contorno su nodi, elementi e superfici in base alle esigenze dell’utilizzatore. In questa fase il programma risolve il modello in base alle istruzioni dell’utente. In particolare, per le analisi dinamiche si è utilizzato un processo solutivo del tipo “iterativo”, mentre nelle analisi statiche si sono lasciati i campi definiti di default dal programma. Il solutore verifica il collegamento tra nodi, verifica i contatti, le caratteristiche degli elementi, come geometria e materiale e infine assembla le varie matrici.

Infine, il post processing, è la fase in cui vengono visualizzati i risultati. È possibile ottenere i risultati in forma grafica o in forma numerica. A seconda dell’analisi i risultati richiesti possono essere diversi. Nella parte statica si possono visualizzare le tensioni, le deformazioni, gli spostamenti e anche le caratteristiche di sollecitazione, mentre nella parte dinamica è possibile vedere i modi propri selezionati e per ognuno di essi sono disponibili tutti i risultati statici.

# 5 INFLUENZA DELLE DIMENSIONI DELL'ASSALE

Terminata la descrizione della modellazione agli elementi finiti del nostro telaio, si dispone ora di una base su cui poter effettuare le analisi. Attraverso gli strumenti del software Ansys Workbench è possibile simulare il comportamento di un sistema sottoposto a determinate condizioni, quali: termiche, magnetiche, acustiche e meccaniche. In particolare, in questa attività di tesi vengono condotte solamente due tipologie di analisi, quella statica e quella dinamica.

Nella prima parte di questo capitolo si esaminano le caratteristiche statiche del telaio, in particolare, l'obbiettivo è quello di valutare la rigidezza torsionale del telaio in funzione di alcuni parametri, come per esempio, i vincoli e i carichi. Inoltre, vengono esaminate diverse configurazioni di telaio, aggiungendo e modificando elementi rigidi come l'assale posteriore o la piastra motore.[17]

Nella seconda parte, invece, si effettua un'analisi modale per trovare le frequenze naturali del sistema e i corrispettivi modi propri. Anche in questi casi si eseguono più simulazioni variando le configurazioni del telaio.

L'ultimo punto prevede una simulazione dinamica in cui si analizzano le frequenze naturali e i modi propri del sistema, aggiungendo le masse e le inerzie del pilota e del motore. In questo modo si cerca di simulare il reale comportamento del kart completo in pista.

## 5.1 Analisi statica

Come scritto in precedenza, l'obbiettivo dell'analisi statica è quello di vedere come varia la rigidezza torsionale in funzione di alcuni parametri.

È bene ricordare come il telaio del kart abbia un ruolo fondamentale nella valutazione della rigidezza complessiva del sistema. Essendo il kart un veicolo sprovvisto di sospensioni, è compito del telaio assolvere queste funzioni.

Grazie alle sue caratteristiche elastiche, il telaio permette di assorbire le varie sollecitazioni che nascono durante la percorrenza del circuito, sostituendosi così alle sospensioni. L'assenza del differenziale, inoltre, non consente alle due ruote posteriori di ruotare a velocità differenti in curva. Per questo motivo il telaio deve essere in grado di distribuire in modo ottimale i carichi a terra per consentire il sollevamento della ruota posteriore interna durante la percorrenza di una curva, limitando gli slittamenti posteriori di una delle due ruote

Per i motivi sopra citati, le analisi si sono concentrate maggiormente sul comportamento torsionale trascurando quello flessionale dal punto di vista statico.

Come si vedrà nei paragrafi seguenti, caricando opportunamente il telaio, tramite Ansys si possono ottenere le deformazioni risultanti; per ottenere la rigidezza torsionale sono poi necessarie le seguenti equazioni:

$$Kt = \frac{Mt}{\alpha} \qquad 5.1$$

$$Mt = F \cdot d \qquad 5.2$$

$$\alpha = \frac{d_{F1} - d_{F2}}{d} \qquad 5.3$$

Con

$Kt = Rigidezza\ torsionale\ [N \cdot mm/rad]$

$Mt = Momento\ Torcente\ [N \cdot mm]$

$\alpha = Angolo\ di\ rotazione\ [rad]$

$d = distanza\ trasversale\ tra\ i\ \ nodi\ di\ applicazione\ delle\ forze\ [mm]$

$d_{F1}, d_{F2} = deformazioni\ verticale\ dei\ nodi\ in\ cui\ sono\ applicate\ le\ forze\ [mm]$

### 5.1.1 Confronto dimensioni assale

Un parametro influente durante la progettazione del telaio in ambito statico è sicuramente la dimensione di un elemento rigido come l'assale posteriore. È bene ricordare, come già descritto nel capitolo 2, come il telaio sia composto da tubi di 28mm di diametro, con uno spessore di circa 2 o 3mm, mentre l'assale posteriore sia un tubo di lunghezza di 900 millimetri con uno spessore variabile tra i 2 e i 5 millimetri a seconda del diametro, anch'esso variabile tra i 30 e i 50 millimetri.

In questo paragrafo si sono confrontati i risultati corrispondenti a quattro modelli di telaio con assale con diametri da 30, 40,45 e 50 millimetri, le cui caratteristiche vengono riportate nella tabella 1 seguente:

| | Diametro Esterno Max [mm] | Spessore Minimo [mm] | Modulo di Resistenza a Flessione [$mm^3$] | Modulo di resistenza a Torsione [$mm^3$] | Massa [Kg] |
|---|---|---|---|---|---|
| Assale | 30 | 4,9 | 2105,9 | 4211,7 | 2,68 |
| Assale | 40 | 2,9 | 2925,5 | 5850,9 | 2,4 |
| Assale | 45 | 2,3 | 3134,3 | 6268,7 | 2,2 |
| Assale | 50 | 1,9 | 3326,5 | 6653,0 | 2,05 |

*Tabella 1. Proprietà assali di diverse misure*

L'assale è collegato al telaio tramite tre cuscinetti oscillanti a sfere radiali. Come discusso nel capitolo 3, a causa delle difficolta nel modellare i cuscinetti, si è preferito approssimarli come dei dischi forati aventi le stesse dimensioni dei cuscinetti reali. Questa è una approssimazione accettabile poiché il peso dei cuscinetti passa da 0,43 chilogrammi del modello reale a circa 0,70 chilogrammi del modello simulato in Ansys. È utile specificare che il contatto tra i cuscinetti e l'albero sia un contatto rigido, che non permette alcuna rotazione e traslazione relativa tra i due componenti. Nei prossimi paragrafi si vedrà come anche la modellazione dei contatti (che corrispondono a accoppiamenti cinematici differenti) influenzi notevolmente i risultati. (paragrafo 5.1.2)

Quando utilizzati, i vincoli imposti alla struttura sono degli incastri, cioè bloccano tutti i sei gradi di libertà dei nodi sottoposti a tale condizione. In questo modello si è deciso di vincolare il telaio nelle estremità libere dell'assale. Questa scelta è stata adottata per simulare, in prima approssimazione, le torsioni della parte anteriore del telaio.

Per quanto riguarda i carichi, è stato scelto di utilizzare due forze esplorative di 100 N con stessa direzione ma verso opposto. Esse sono applicate nei fori dei due fuselli anteriori. In particolare, si è voluto simulare lo scambio di forze che avviene tra il perno e i fori dei fuselli, quando sono presenti due forze verticali.

Analizzando nel dettaglio il fusello anteriore sinistro, figura 5.1, si vede come esso sia soggetto ad una forza verticale verso l'alto. Questa forza viene ripartita nei nodi esterni della superficie inferiore del foro.

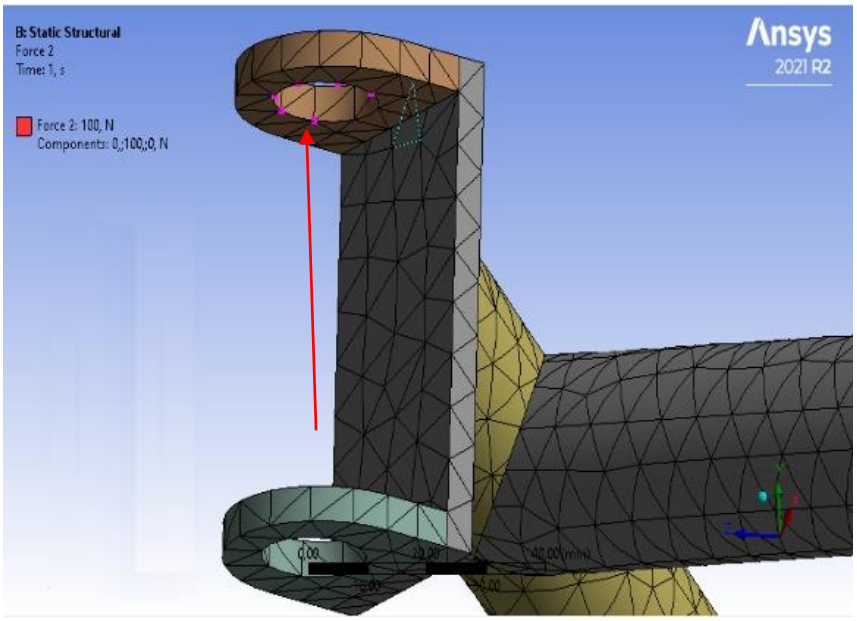



*Figura 5.1 Configurazione di Carico fusello anteriore sinistro*

Nel fusello anteriore destro si avrà un comportamento analogo, ma essendo soggetto ad una forza verticale verso il basso, il foro preso in considerazione sarà quello inferiore, figura 5.2

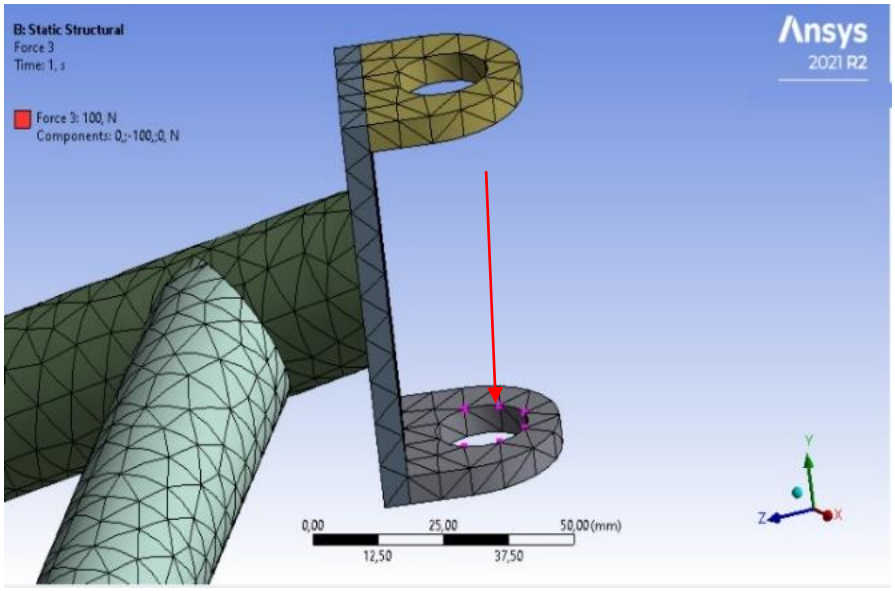



*Figura 5.2 Configurazione di carico fusello anteriore destro*

Si è scelto di dare una certa rilevanza a questa configurazione di carico, poiché verrà riproposta anche nei confronti successivi, in maniera del tutto analoga.

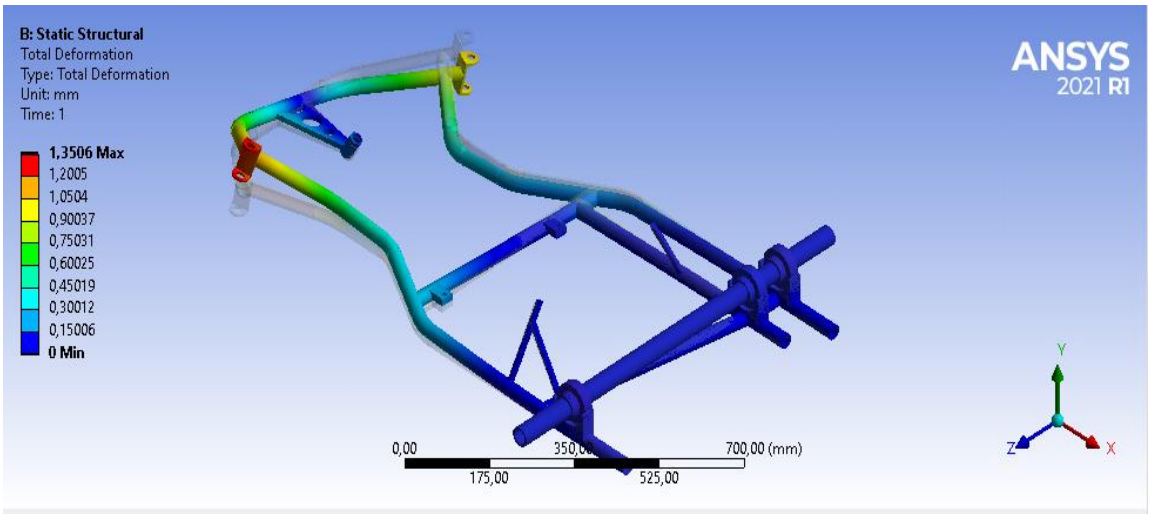



*Figura 5.3 Deformazione risultante telaio con assale da 40mm*

| ***Modello*** | ***Spessori [mm]*** | ***Deformazione max [mm]*** | ***Rigidezza Torsionale [Nmm/rad]*** |
|---|---|---|---|
| Assale φ 30mm | 4,9 | 1,354 | $1{,}709 \cdot 10^5$ |
| Assale φ 40mm | 2,9 | 1,350 | $1{,}795 \cdot 10^5$ |
| Assale φ 45mm | 2,3 | 1,344 | $1{,}820 \cdot 10^5$ |
| Assale φ 50mm | 1,9 | 1,337 | $1{,}850 \cdot 10^5$ |

*Tabella 2. Confronto rigidezze telaio con assali differenti*

Analizzando i risultati, proposti nella figura 5.3, si vede come l'aumento del diametro dell'albero causi una diminuzione della deformazione, in altre parole il telaio si irrigidisce. Si nota come la deformazione sia maggiore nel lato sinistro del telaio rispetto a quello destro, dove sono presenti due tubi che conferiscono una rigidezza maggiore al telaio, seppur minima.

È bene ricordare che i risultati sono stati ottenuti utilizzando una forza di 100 N, quindi di modesta entità, e quindi le variazioni numeriche dei risultati non sembrano importanti, ma si

tratta di variazioni significative poiché nella realtà le forze in gioco raggiungono anche un ordine di grandezza superiore.

### 5.1.2 Confronto tra “modello con cuscinetti rigidi” e “modello con cuscinetti basculanti”

Visto il confronto tra i modelli con diversi diametri dell’assale (30-40-45-50) mm, si valutano ora altri parametri che possano influenzare maggiormente i risultati. Uno di questi è sicuramente la modalità di simulazione dei contatti presenti tra i vari corpi all’interno del software. In particolare, come descritto nel capitolo 2, il software definisce automaticamente i contatti tra i corpi come “Bonded”, ovvero incollati [14]. Se le aree di contatto sono unite tramite contatto “Bonded”, non sono permessi slittamenti o separazioni tra le facce dei contatti. Con questa tipologia di unione, l’area di contatto non varia durante l’applicazione del carico, per questo motivo si tratta di un contatto estremamente rigido.

In questa fase si cerca di simulare in modo più realistico il comportamento del telaio e del collegamento con i suoi componenti. L’utilizzo di un contatto così rigido per simulare il collegamento tra cuscinetti e albero non sembra essere la soluzione più vicina al reale comportamento.

Tra i contatti disponibili nella apposita sezione di Ansys Workbench vi è quello denominato “No Separation”. Questa tipologia di unione permette uno scorrimento tangenziale tra le superficie dei due corpi mantenendo l’aderenza delle superfici.

Il confronto verrà eseguito tra due modelli: il primo che utilizza contatti “Bonded” tra cuscinetti e albero, che per comodità chiameremo “modello con cuscinetti rigidi”, e il secondo che utilizza il contatto “No Separation”, che chiameremo con il nome di “modello con cuscinetti basculanti”.

In questo caso i carichi e i vincoli sono gli stessi del modello precedente (5.2.1), figura 5.4 Per osservare le deformazioni dell’albero, anche se estremante piccole rispetto a quelle del telaio, sono state vincolate le due estremità dell’assale tramite degli incastri.

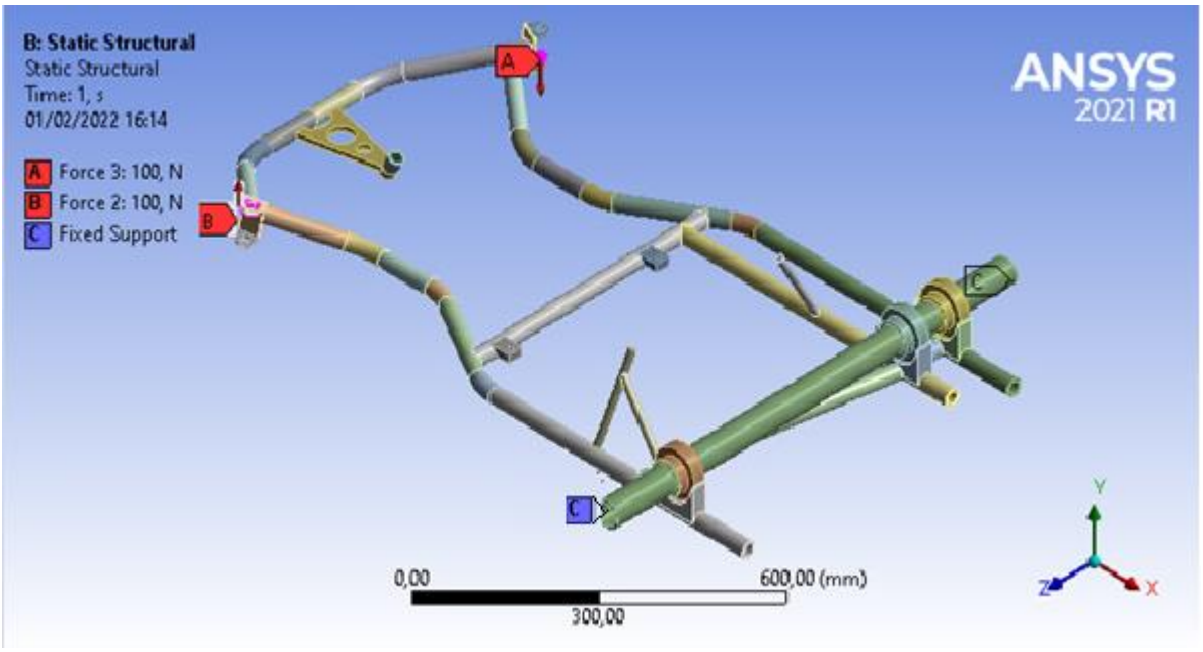



*Figura 5.4 Condizioni di carico e di vincolo per confronto "modello con cuscinetti rigidi" e "modello con cuscinetti basculanti"*

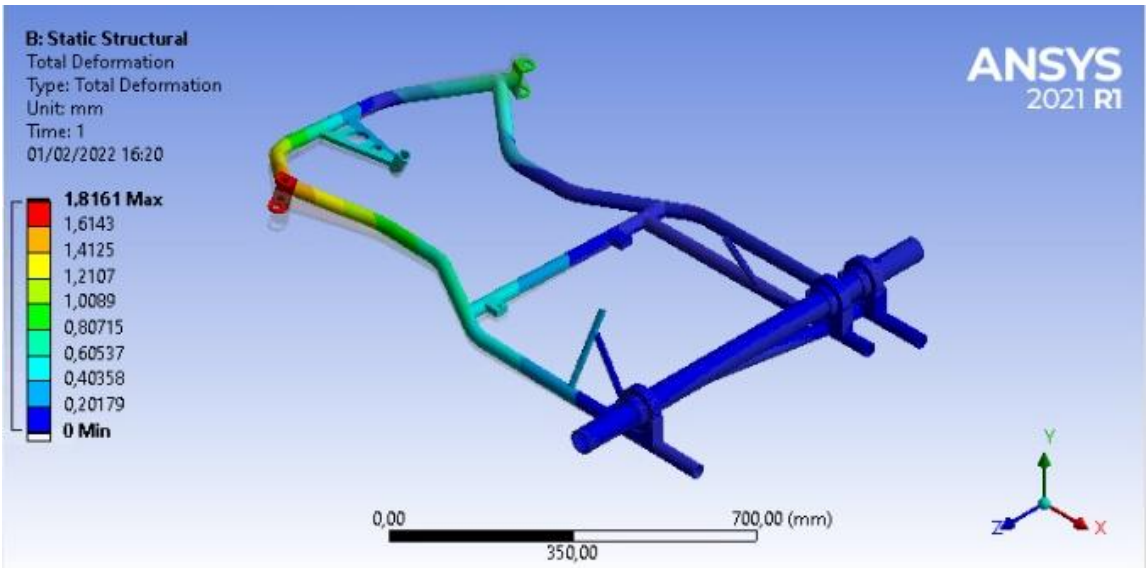


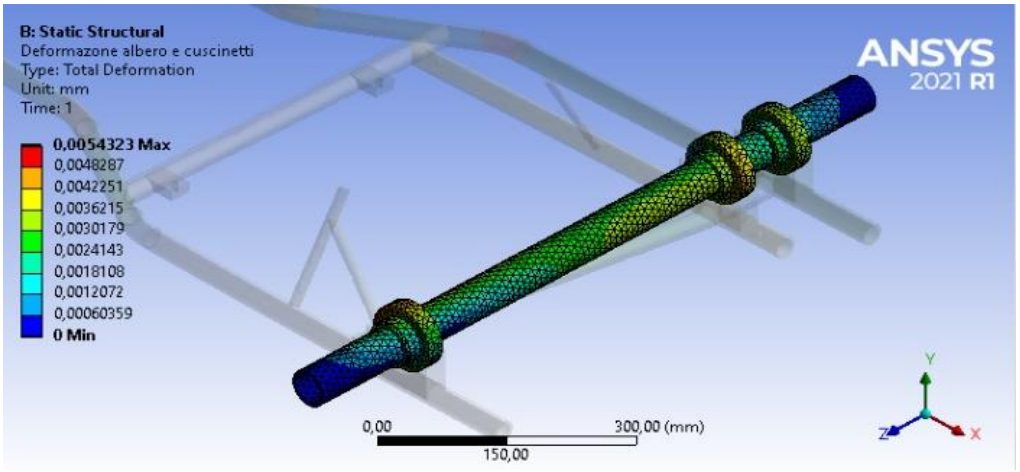

*Figura 5.5 Deformazioni risultanti per "modello con cuscinetti basculanii"*

| *Modello* | *Deformazione Massima [mm]* | *Rigidezza Torsionale [Nmm/rad]* |
|---|---|---|
| Cuscinetti Rigidi (Bonded) | 1,328 | $1{,}850 \cdot 10^5$ |
| Cuscinetti Basculanti (No separation) | 1,816 | $1{,}339 \cdot 10^5$ |

*Tabella 3. Risultati contatti "Bonded" e "No separation"*

Come si nota dalla tabella 3, variando la tipologia di contatti tra i cuscinetti e l'albero nascono variazioni significative dei risultati. Passando da un modello rigido, ("Bonded"), ad un modello meno rigido ("No separation") si ottiene una diminuzione della rigidezza torsionale. I risultati del modello con cuscinetti basculanti si avvicinano maggiormente ai risultati del modello reale, poiché nella realtà il comportamento dei cuscinetti è sicuramente più simile a quello di cuscinetti basculanti che non a quello di cuscinetti rigidi. Con queste osservazioni è possibile capire come il modello con cuscinetti rigidi sottostimi la vera rigidezza torsionale presente nel telaio.

Per analizzare al meglio il comportamento dei cuscinetti rigidi rispetto a quelli basculanti si è deciso di isolare l'insieme composto dall'assale e dai cuscinetti.



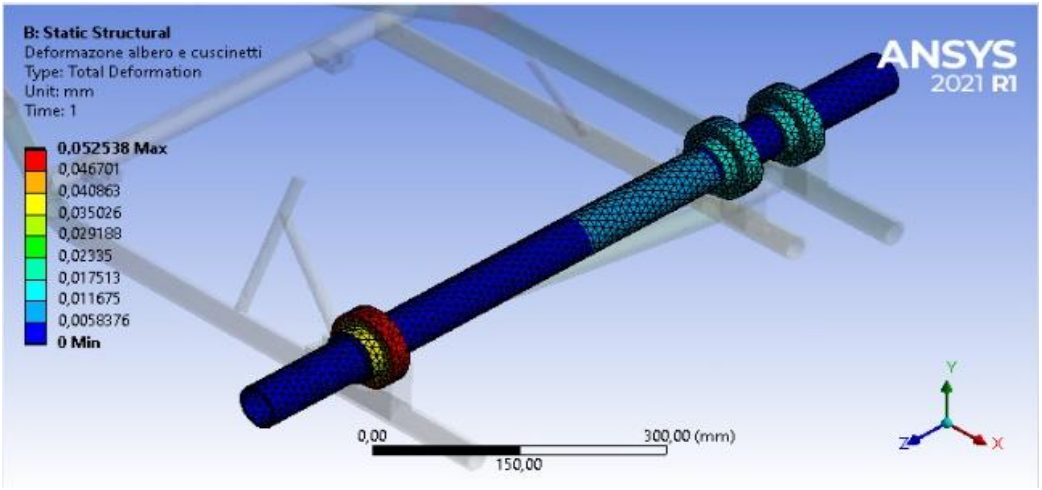



*Figura 5.6 In alto: Deformazioni flessionali albero e cuscinetti rigidi. In basso: deformazioni flessionale albero e cuscinetti basculanti*

Come si può vedere la figura 5.6 rappresenta contatti rigidi tra cuscinetti e assale (Bonded). I risultati mostrano come utilizzando questa tipologia di unione non vi siano deformazioni differenti tra i cuscinetti e l'albero, il software simula quindi una completa adesione tra le due parti. Questa unione aumenta di molto la rigidezza del componente costituito da albero più cuscinetti; infatti, presenta una deformazione torsionale massima di circa 5 µm, invisibile e influente rispetto a quella dell'intero telaio.

Nella parte in basso della figura 5.6, sono visualizzati i risultati ottenuti utilizzando il contatto "No Separation". Si nota come, in questo caso la deformazione massima sia di circa 50 µm, inoltre è possibile vedere come albero e cuscinetti presentino valori diversi di deformazione, questo dimostra come il contatto "No separation" permetta uno scorrimento relativo tra i due corpi.

Infine, per completezza, si sono valutate le deformazioni dei singoli alberi nei due corrispettivi modelli, figura 5.7. Per far ciò è stata utilizzato lo stesso modello visto precedentemente in figura 5.4, avendo curo di isolare i due assali dall'intero sistema. Anche in questo caso i risultati mostrano come il modello in cui si utilizzano cuscinetti rigidi, bonded, sia molto più rigido rispetto al modello che utilizza contatti "no separation". In entrambi i casi le deformazioni dell'albero sono insignificanti rispetto a quelle dell'intero telaio.

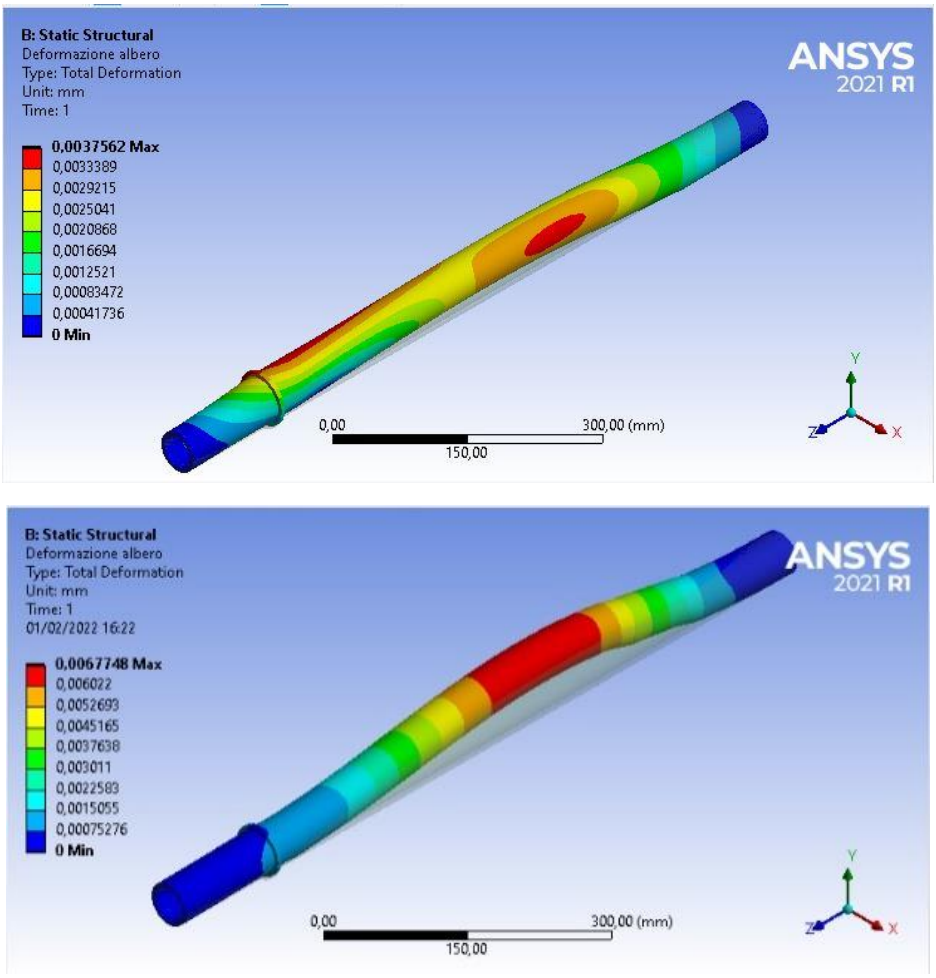



*Figura 5.7 In alto: Deformazioni flessionali albero con contatti "bonded". In basso: Deformazioni flessionali con contatti "No Separation"*

### 5.1.3 Confronto analisi torsionale posteriore

Nei confronti precedenti si è visto come la presenza dell'assale posteriore e la variazione della tipologia di contatti modifichino in modo significativo i risultati. Sempre nei casi precedenti si sono mantenute le stesse condizioni di carico e di vincolo.

Come descritto all'inizio del capitolo, è utile vedere quali risultati si ottengono modificando anche le condizioni dei carichi e dei vincoli. In questa fase si vuole effettuare un'analisi

torsionale della parte posteriore del telaio. Per questo motivo si è disposta una nuova configurazione dei carichi e dei vincoli, figura 5.8:

- *Carichi*: due coppie di forze di 100 N in direzione verticale, con verso opposto, applicate nella estremità posteriori del telaio.
- *Vincoli:* incastri applicati sulle facce dei fuselli anteriori.

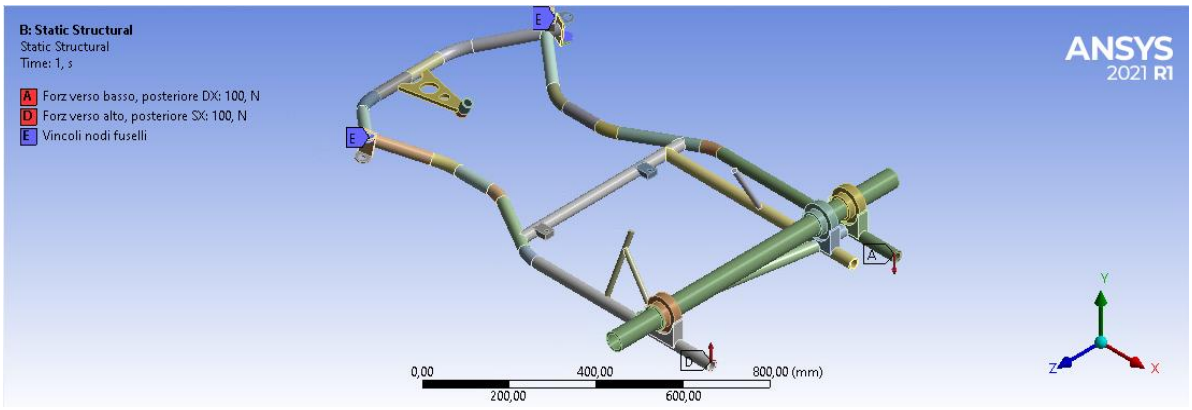



*Figura 5.8. Configurazione carichi e vincoli torsione posteriore*

Per valutare in modo completo la torsione posteriore si è deciso di confrontare tre modelli in cui siano presenti sia gli effetti legati alla presenza o meno dell'assale, sia gli effetti legati alla scelta della tipologia di contatto utilizzato.

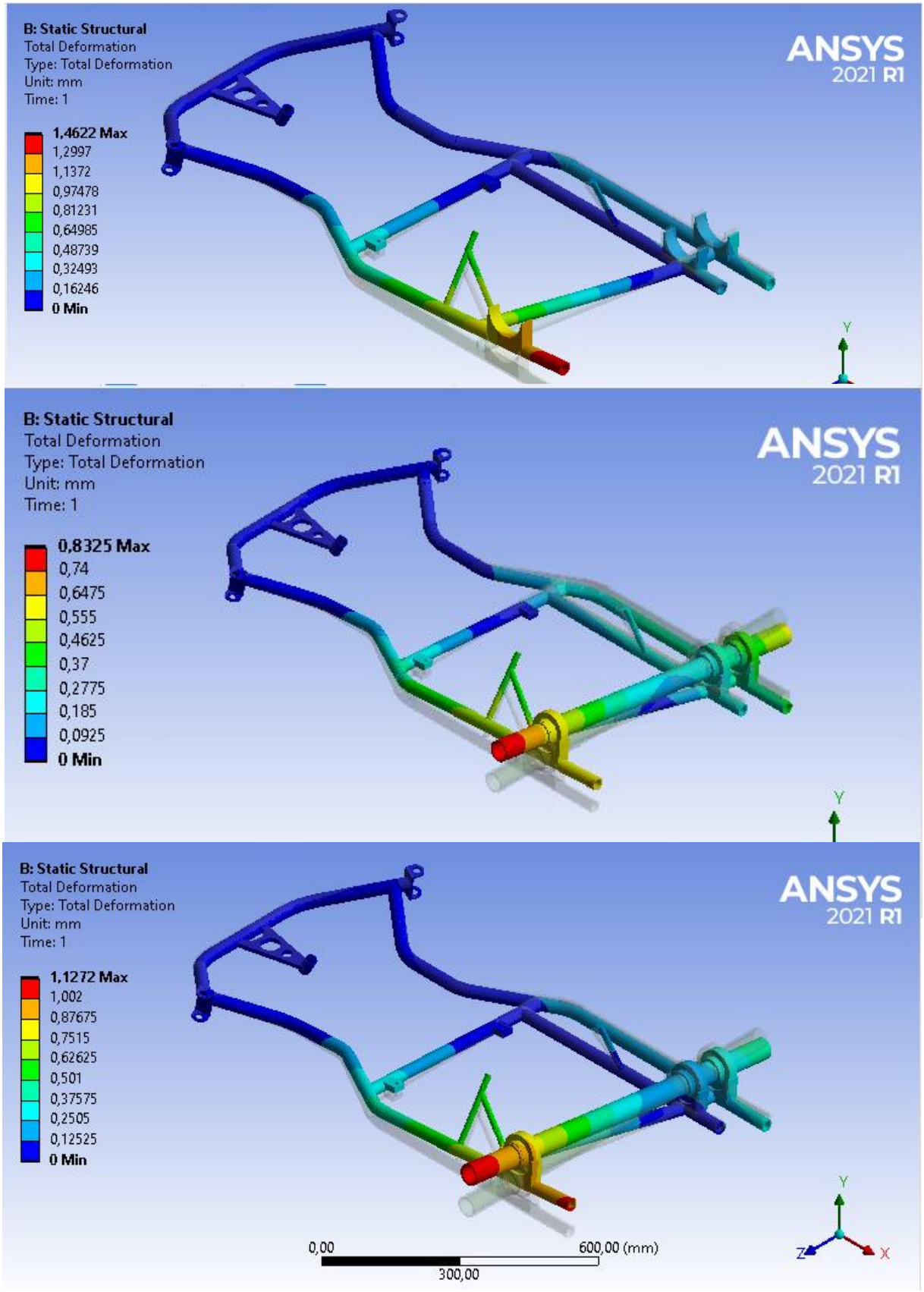



*Figura 5.9. In alto: Risultati torsione posteriore telaio singolo. Nel centro: Risultati torsione posteriore contatti "Bonded". In basso: Risultati torsione posteriore contatti "No Separation"*

| *Modello* | *Deformazione Massima [mm]* | *Rigidezza Torsionale [Nmm/rad]* |
|---|---|---|
| Telaio singolo | 1,462 | $2{,}763 \cdot 10^5$ |
| Telaio e assale con cuscinetti rigidi | 0,833 | $5{,}085 \cdot 10^5$ |
| Telaio e assale con cuscinetti basculanti | 1,127 | $3{,}823 \cdot 10^5$ |

*Tabella 4. Risultati Torsione Posteriore*

I risultati, figura 5.9, mostrano come la rigidezza torsionale posteriore aumenti con la presenza dell'assale e con la tipologia di contatti Bonded. In questa analisi, rispetto a quelle precedenti, le variazioni nei risultati sono molto più significative. Il motivo è da ricondursi anche nella posizione dei vincoli. Essendo, nei modelli trattati nei paragrafi precedenti, i vincoli molto vicini alla posizione dell'assale, quest'ultimi oscuravano la vera influenza della rigidezza dell'assale su quella complessiva del telaio. Invece, nel modello trattato in questo paragrafo, cioè l'analisi torsionale posteriore, essendo i vincoli lontani dalla posizione dell'assale, la presenza di quest'ultimo influisce notevolmente nella rigidezza torsionale complessiva dell'intero telaio.

### 5.1.4 Confronto analisi torsionale anteriore

I confronti precedenti hanno mostrato come la rigidezza torsionale sia influenzata da diversi parametri, come: presenza o assenza albero posteriore, tipologia contatti e posizione dei carichi e dei vincoli. Per completare il quadro generale della rigidezza del nostro telaio, non rimane che simulare la deformazione anteriore. [15]

Le condizioni di carico e di vincolo sono: vincoli nella semicirconferenza di alloggiamento dei cuscinetti e una coppia di forza di 100 N, con verso opposto, in direzione verticale applicata nei fuselli anteriori.

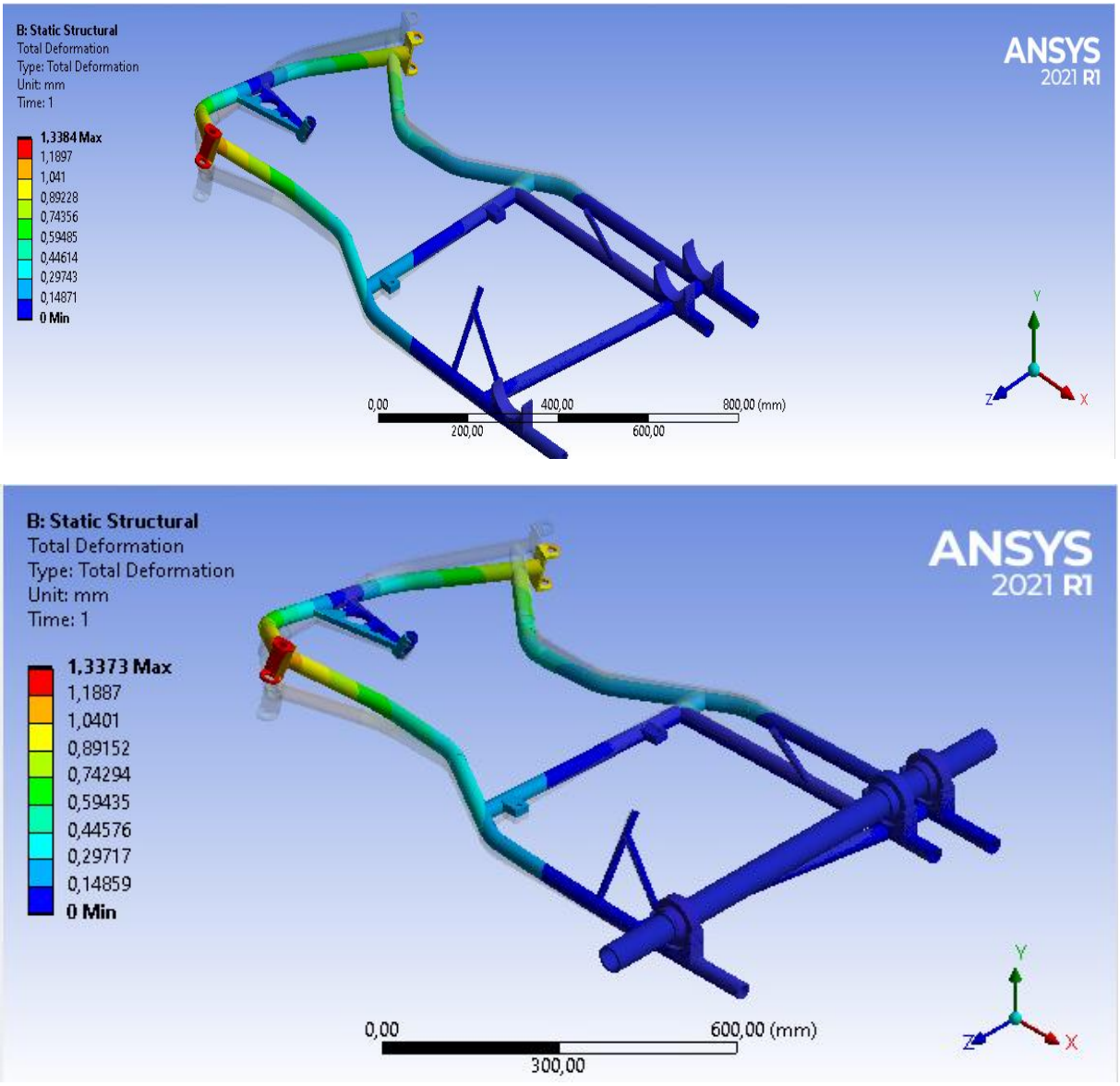



*Figura 5.10 In alto: Deformazioni telaio nudo. In basso: Deformazioni telaio contatti "Bonded"*

| *Modello* | *Deformazione Massima [mm]* | *Rigidezza Torsionale [Nmm/rad]* |
|---|---|---|
| Telaio singolo | 1,337 | $1{,}949 \cdot 10^5$ |
| Telaio e assale con cuscinetti rigidi | 1,337 | $1{,}949 \cdot 10^5$ |
| Telaio e assale con cuscinetti basculanti | 1,337 | $1{,}949 \cdot 10^5$ |

*Tabella 5. Risultati torsione anteriore.*

I risultati presenti nella figura 5.10 mostrano come in tutti e tre i modelli analizzati le deformazioni siano sempre le stesse, indipendentemente dalla presenza dell'assale o dalla tipologia di contatto. Questo comportamento evidenzia come la posizione dei vincoli sia fondamentale per effettuare una corretta analisi. In particolare, in questi confronti la presenza dei vincoli nelle semicirconferenze di alloggiamento dei cuscinetti annulla l'effetto di irrigidimento dovuto alla presenza dell'assale e della scelta della tipologia di contatti utilizzati.

Confrontando questi risultati per la torsione anteriore e i risultati ottenuti precedentemente per la torsione posteriore, si intuisce uno dei motivi per cui la rigidezza torsionale anteriore sia di 19 KNmm/rad (tabella 5) rispetto i 50 KNmm/rad (tabella 4) della rigidezza posteriore, ossia la posizione dei vincoli. L'aspetto fondamentale per cui la rigidezza torsionale posteriore è maggiore rispetto a quella anteriore è sicuramente la geometria. Osservando il telaio si rileva come nella parte retrostante vi siano molti più elementi di irrigidimento rispetto alla parte anteriore.

### 5.1.5 Confronto modello telaio con piastra motore di diversi materiali

L'ultimo elemento che si vuole analizzare riguarda un modello in cui viene inserita la piastra che supporta il motore. Nella fattispecie si vuole vedere come e quanto influisca questa piastra sulla rigidezza del telaio. Questa analisi verrà condotta utilizzando piastre di diversi materiali, come: alluminio, magnesio e acciaio.

Grazie ai ragionamenti espressi nel paragrafo precedente, si è scelto di effettuare un'analisi torsionale posteriore. In questo modo si posizionano i vincoli nei fuselli anteriori e si carica la struttura utilizzando una coppia di forze uguale a quella utilizzata nel paragrafo 5.1.3.

La scelta di studiare una torsione al posteriore, rispetto ad una all'anteriore, permette di vedere meglio l'influenza della piastra motore sul comportamento complessivo del telaio.

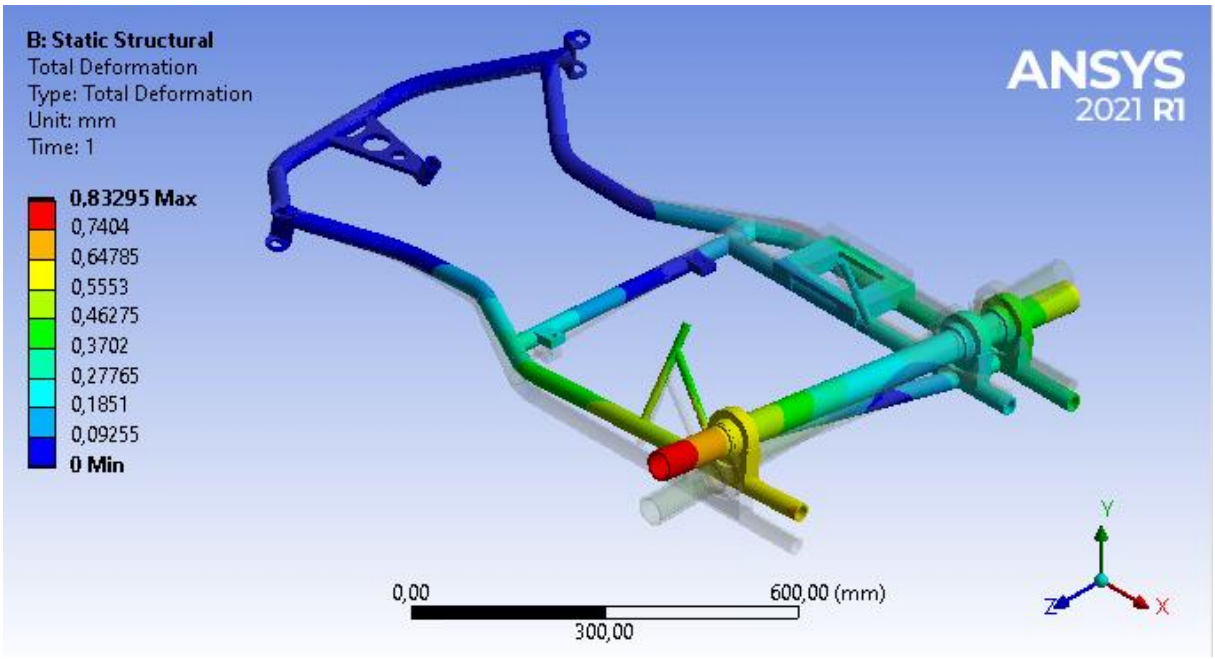



*Figura 5.11. Risultati analisi torsionale posteriore telaio con piastra alluminio*

La figura 5.11 mostra le deformazioni del telaio con piastra in alluminio. Nella Tabella 6, sottostante, vengono riportate le deformazioni massime del telaio in funzione del materiale della piastra. Per completezza sono stati analizzati sia i casi in cui i cuscinetti sono considerati rigidi, cioè contatti "bonded", sia il caso in cui i cuscinetti sono considerati basculanti, ovvero contatti tra albero e cuscinetti della tipologia "No Separation".

| ***Materiale*** | ***Contatti*** | ***Deformazioni Max [mm]*** |
|---|---|---|
| Acciaio<br>[$\rho$=7,85·10$^{-6}$ Kg/mm$^3$] [m$_{,piastra}$=2,397Kg] | Bonded | 0,823 |
| Acciaio<br>[$\rho$ =7,85·10$^{-6}$Kg/mm$^3$] [m$_{,piastra}$ =2,397Kg] | No Separation | 1,088 |
| Lega Magnesio<br>[$\rho$ =1,8·10$^{-6}$ Kg/mm$^3$] [m$_{,piastra}$ =0,549 Kg] | Bonded | 0,835 |
| Lega Magnesio<br>[$\rho$ =1,8·10$^{-6}$ Kg/mm$^{3]}$ [m$_{,\ piastra}$ =0,549 Kg] | No Separation | 1,106 |
| Lega Alluminio<br>[$\rho$=2,77·10$^{-6}$Kg/mm$^3$] [m$_{,piastra}$ =0,846 Kg] | Bonded | 0,832 |
| Lega Alluminio<br>[$\rho$=2,77·10$^{-6}$Kg/mm$^3$] [m$_{,piastra}$ =0,846 Kg] | No Separation | 1,1 |

*Tabella 6. Risultati deformazione telaio con piastre di diverso materiale.*

La tabella 6 riporta l'influenza del materiale della piastra sulla deformazione risultante. Come si può notare, cambiando materiale non ci sono grandi vantaggi per quanto riguarda la rigidezza torsionale, per questo motivo la scelta della tipologia di materiale da utilizzare nella piastra è legata solo al minor peso dalla piastra stessa.

In conclusione, viene riportata una tabella riepilogativa, Tabella 7, dei vari confronti effettuati, in modo da avere una visione diretta delle varie rigidezze ottenute.

| *Modello* | *Vincoli* | *Forze* | *Contatti* | *Deformazioni Massime [mm]* | *Rigidezza Torsionale [Nmm/rad]* |
|---|---|---|---|---|---|
| Telaio con Assale φ 30mm | Estremità assale | Nodi fuselli anteriori | Bonded | 1,354 | $1{,}709 \cdot 10^5$ |
| Telaio con Assale φ 40mm | Estremità assale | Nodi fuselli anteriori | Bonded | 1,350 | $1{,}795 \cdot 10^5$ |
| Telaio con Assale φ 45mm | Estremità assale | Nodi fuselli anteriori | Bonded | 1,344 | $1{,}820 \cdot 10^5$ |
| Telaio con Assale φ 50mm | Estremità assale | Nodi fuselli anteriori | Bonded | 1,328 | $1{,}851 \cdot 10^5$ |
| Telaio con Assale φ 50mm | Estremità assale | Nodi fuselli anteriori | Bonded | 1,328 | $1{,}851 \cdot 10^5$ |
| Telaio con Assale φ 50mm | Estremità assale | Nodi fuselli anteriori | No Separation | 1,816 | $1{,}339 \cdot 10^5$ |
| Telaio singolo | Nodi Fuselli Anteriori | Estremità posteriore telaio | - | 1,462 | $2{,}763 \cdot 10^5$ |
| Telaio con Assale φ 50mm | Nodi Fuselli Anteriori | Estremità posteriore telaio | Bonded | 0,832 | $5{,}085 \cdot 10^5$ |
| Telaio con Assale φ 50mm | Nodi Fuselli Anteriori | Estremità posteriore telaio | No Separation | 1,127 | $3{,}823 \cdot 10^5$ |
| Telaio singolo | Semicirconferenze alloggiamento cuscinetti | Nodi Fuselli Anteriori | - | 1,337 | $1{,}949 \cdot 10^5$ |
| Telaio con Assale φ 50mm | Semicirconferenze alloggiamento cuscinetti | Nodi Fuselli Anteriori | Bonded | 1,337 | $1{,}949 \cdot 10^5$ |

*Tabella 7. Riepilogo risultati vari confronti tra modelli*

## 5.2 Analisi dinamica

Per avere un quadro generale e più ampio sul comportamento del telaio, terminata la sezione riguardante l'analisi statica si passa ora ad un'analisi dinamica. [12]

Il problema dinamico varia rispetto a quello statico per due aspetti principali: la dipendenza dal tempo del sistema e la presenza delle forze di inerzia e dello smorzamento. Si considera un sistema come quasi-statico se la frequenza di eccitazione del carico applicato alla struttura è minore di un terzo della frequenza naturale più piccola e vengono così trascurati gli effetti di inerzia. Nella trattazione dinamica, le proprietà fisiche più rilevanti nel sistema sono: rigidezza, espressa tramite la matrice di rigidezza [K], massa e inerzia, descritta dalla matrice [M], lo smorzamento [C] e il carico esterno $\{F\}$.

L'analisi dinamica strutturale si divide in due categorie:

1. calcolo delle frequenze naturali di vibrazione e i loro corrispettivi modi di vibrare
2. analisi della risposta temporale di una struttura sottoposta a carichi variabili nel tempo

In questo lavoro di tesi sono state svolte delle analisi appartenenti alla prima categoria. L'obbiettivo è quello di servirsi delle simulazioni effettuabili grazie al software Ansys Workbench per calcolare le frequenze naturali e i modi di vibrare del nostro sistema. L'analisi modale in ambiente CAE unisce le equazioni matematiche relative allo studio delle vibrazioni meccaniche, con la metodologia degli elementi finiti (FEM). Il metodo agli elementi finiti permette di discretizzare una struttura e grazie all'utilizzo di tecniche di calcolo numero consento lo studio di problemi complessi.

L'analisi modale permette di trovare i modi propri di una struttura e per ciascuno di essi calcola il suo periodo naturale di vibrazione, cioè l'intervallo di tempo in cui il sistema esegue un'oscillazione completa rispettando una configurazione deformata corrispondente al suo modo di vibrare. È utile ricordare come il numero di modi propri di un sistema sia pari al numero di gradi di libertà.[16]

Per comprendere al meglio l'analisi modale agli elementi finiti è utile riscrivere le equazioni fondamentali presenti nel sistema.

$$\{u\} = [n]\{s\} \qquad 5.4$$

Dove $\boldsymbol{u}$ è il vettore del campo di spostamenti, $\boldsymbol{n}$ è la matrice delle funzioni dello spazio e $\boldsymbol{s}$ è funzione del tempo. Grazie a questa equazione è possibile ottenere la distribuzione degli spostamenti di un elemento, per ottenere il comportamento dell'intera struttura è necessario assemblare tutti gli elementi.

In generale per un sistema con n-gradi di libertà, l'equazione di equilibrio si scrive come

$$[\mathrm{M}]\{\ddot{s}\} + [\mathrm{C}]\{\dot{s}\} + [K]\{s\} = \{F\} \qquad 5.5$$

Nell'ipotesi di strutture lineare, prive di smorzamento ([C]=0) e vibrazioni libere ([F]=0), l'equazione di equilibrio per un sistema a n-gradi di libertà diventa

$$[\mathrm{M}]\{\ddot{s}\} + [K]\{s\} = \{0\} \qquad 5.6$$

Ponendo,

$$\{u\} = \{\varphi\} sin\omega t \qquad 5.7$$

L'equazione 5.6 diventa

$$([K] - \omega^2[M])\{\varphi\} = \{0\} \qquad 5.8$$

Escludendo la soluzione banale $\{\varphi\} = \{0\}$, ossia sistema fermo, per trovare le soluzioni diverse da zero dell'equazione 5.8, occorre che

$$det([K] - \omega^2[M]) = 0 \qquad 5.9$$

Dall'equazione finale 5.9 si ottengono *n* autovalori $\omega^2$ che sostituiti nell'equazione 5.8 forniscono *n* autovettori $\{\varphi\}$ corrispondenti definiti a meno di una costante. Poiché le matrici [K] e [M] sono reali e simmetriche gli autovalori risultano tutti numeri reali.

### 5.2.1 Telaio Nudo

La prima analisi che viene svolta in ambito dinamico riguarda il telaio nudo. Essendo l'elemento centrale nella progettazione del kart è necessario studiare il suo comportamento partendo da un modello di base, quale il solo telaio semplice, per andare poi a modificarlo trovando i parametri che influiscono maggiormente sulle caratteristiche ricercate.

Nel nostro caso l'analisi modale condotta è un'analisi "free-free, ossia il sistema non presenta nessun tipo di vincolo. Dalla teoria della meccanica delle vibrazioni è risaputo che eseguendo un calcolo modale senza vincolare la struttura si ottengono i primi sei autovalori con frequenza nulla o prossima allo zero. I corrispondenti autovettori sono le forme di moto rigido, ovvero sono delle oscillazioni di rotazione e traslazione rigide di tutto il sistema nello spazio. Le frequenze successive alla prime sei sono diverse da zero e vengono definite come le deformate modali del sistema.

In questo modello si sono scelti di analizzare solamente i primi dieci modi propri poiché risultano essere quelli più importanti al fine di determinare il comportamento dinamico del sistema. Infatti, ai primi modi elastici corrispondono periodi propri più lunghi e deformazioni più elevate, quindi maggiormente significativi. L'analisi modale del telaio puro genera le seguenti frequenze naturali:

| | Frequenza 1° Modo Proprio [Hz] | Frequenza 2° Modo Proprio [Hz] | Frequenza 3° Modo Proprio [Hz] | Frequenza 4° Modo Proprio [Hz] |
|---|---|---|---|---|
| Telaio nudo | 54.85 | 63,78 | 89,471 | 114,24 |

*Tabella 8. Frequenze naturali telaio singolo*

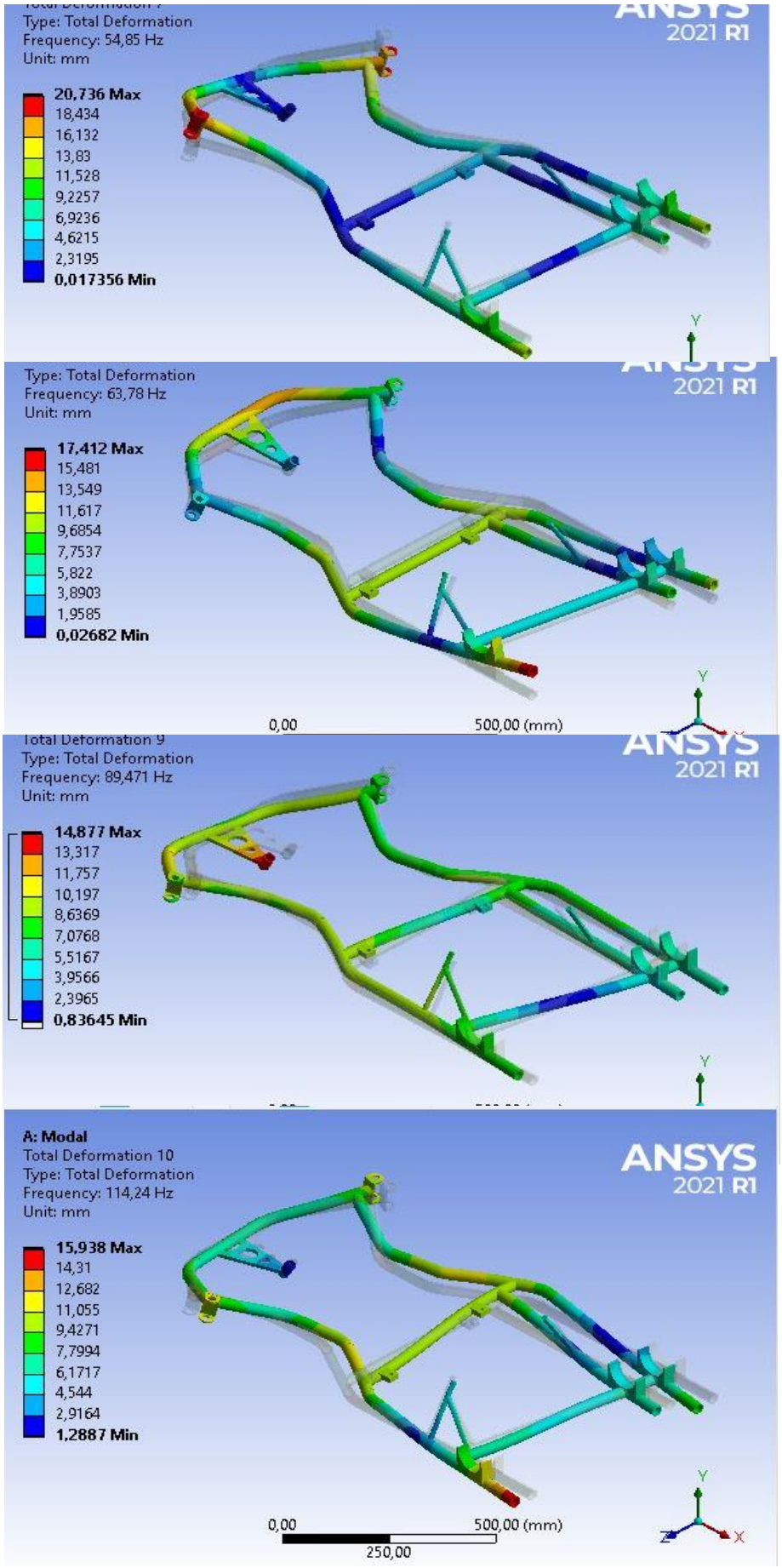



*Figura 5.12. Dall'alto verso il basso: Primo, secondo terzo e quarto modi propri del telaio nudo*

La figura 5.12 mostra in ordine i primi quattro modi elastici del sistema. Si può vedere come il primo modo sia un modo torsionale, il secondo un modo flessione e gli ultimi due siano degli allungamenti longitudinali e laterali. Il fatto che la struttura presenti prima un modo torsionale e successivamente uno flessionale indica che il sistema presenta una rigidezza torsionale minore rispetto a quella flessionale. Grazie all'analisi modale si vede su quali parametri intervenire per modificare il comportamento dinamico del sistema.

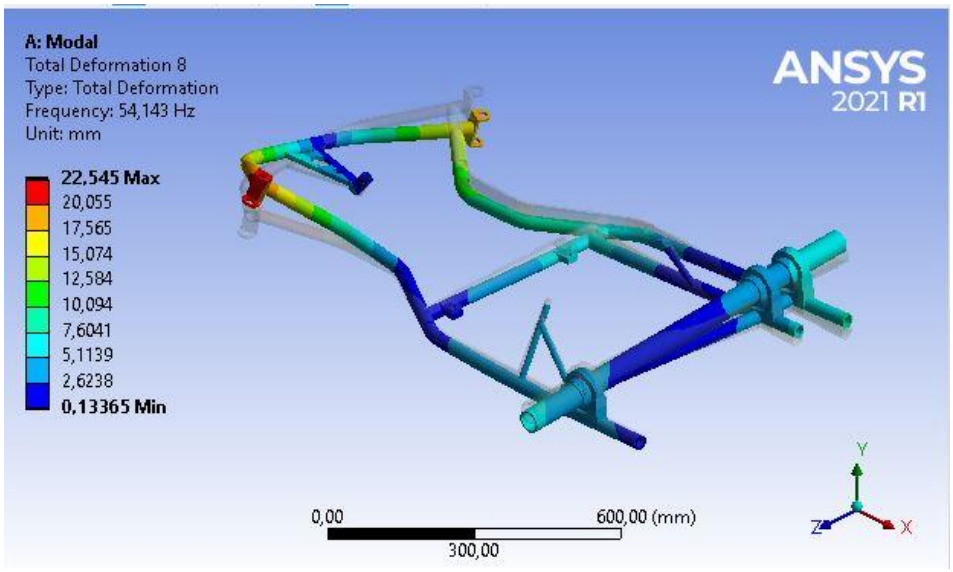
### 5.2.2 Confronto telaio con assale di diverso diametro

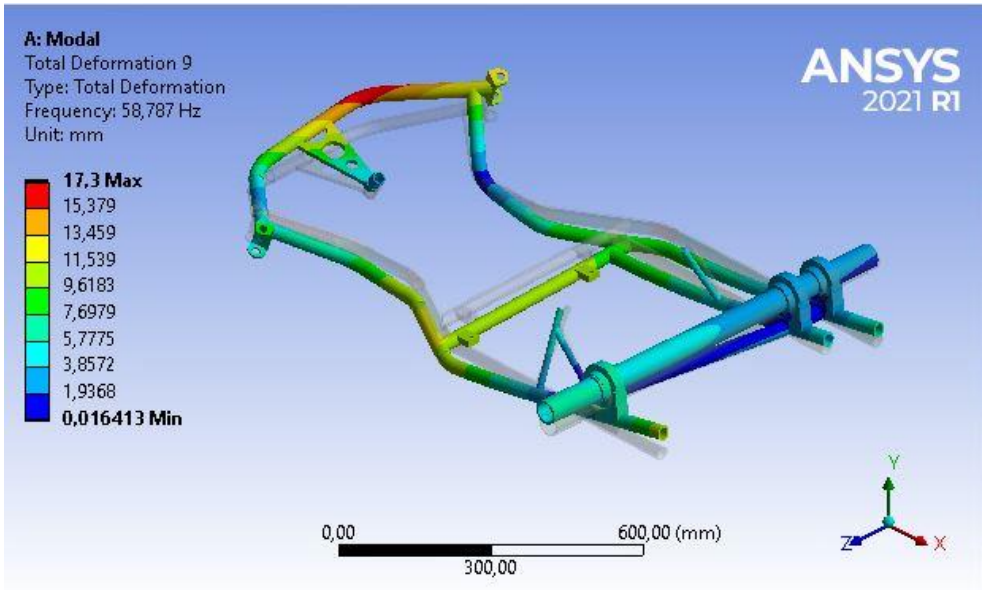
Il primo parametro di cui si vuole studiare l'influenza sul comportamento dinamico del telaio è la presenza dell'assale posteriore. Nello specifico si vogliono conoscere le frequenze naturali e i rispettivi modi propri che nascono inserendo l'assale, con diametri e spessori variabili, nel modello. I diametri scelti per l'albero posteriore sono rispettivamente:30, 40,45 e 50 mm. In questa fase non viene data particolare importanza alla tipologia di contatto; pertanto, i cuscinetti e l'albero sono collegati tramite contatti di default, ossia rigidi (Bonded). Nel paragrafo successivo si vedrà l'influenza della tipologia di contatti sui risultati. Il confronto tra le varie frequenze è riportato nella tabella 9.

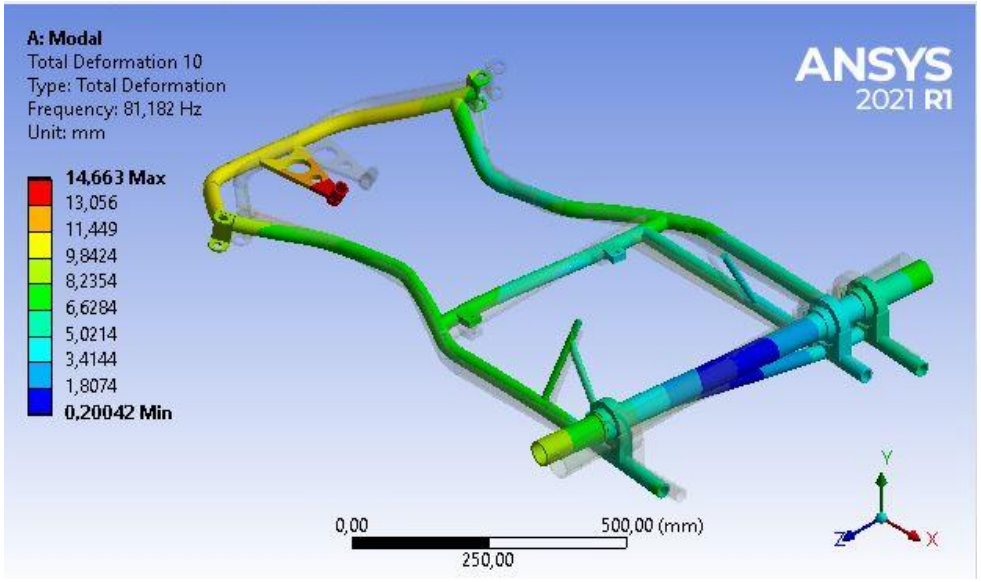
| | Frequenza 1° Modo Proprio [Hz] | Frequenza 2° Modo Proprio [Hz] | Frequenza 3° Modo Proprio [Hz] | Frequenza 4° Modo Proprio [Hz] |
|---|---|---|---|---|
| Telaio con assale φ 30mm | 53,162 | 59,9 | 83,254 | 116,76 |
| Telaio con assale φ 40mm | 53,831 | 59,267 | 82,125 | 120,32 |
| Telaio con assale φ 45mm | 54,064 | 59,022 | 81,74 | 121,92 |
| Telaio con assale φ 50mm | 54,143 | 58,787 | 81,182 | 123,53 |

*Tabella 9. Frequenze proprie telaio con assali di diverse dimensioni*

Essendo le forme modali molto simili per tutti e quattro i modelli, vengono riportate, a scopo illustrativo solamente le forme modali del telaio con assale di diametro da 50 mm, figura 5.13.


A: Modal
Total Deformation 8
Type: Total Deformation
Frequency: 54,143 Hz
Unit: mm
22,545 Max
20,055
17,565
15,074
12,584
10,094
7,6041
5,1139
2,6238
0,13365 Min
ANSYS
2021 R1
0,00
600,00 (mm)
300,00
Y
Z
X


A: Modal
Total Deformation 9
Type: Total Deformation
Frequency: 58,787 Hz
Unit: mm
17,3 Max
15,379
13,459
11,539
9,6183
7,6979
5,7775
3,8572
1,9368
0,016413 Min
ANSYS
2021 R1
0,00
600,00 (mm)
300,00
Y
Z
X


A: Modal
Total Deformation 10
Type: Total Deformation
Frequency: 81,182 Hz
Unit: mm
14,663 Max
13,056
11,449
9,8424
8,2354
6,6284
5,0214
3,4144
1,8074
0,20042 Min
ANSYS
2021 R1
0,00
500,00 (mm)
250,00
Y
Z
X

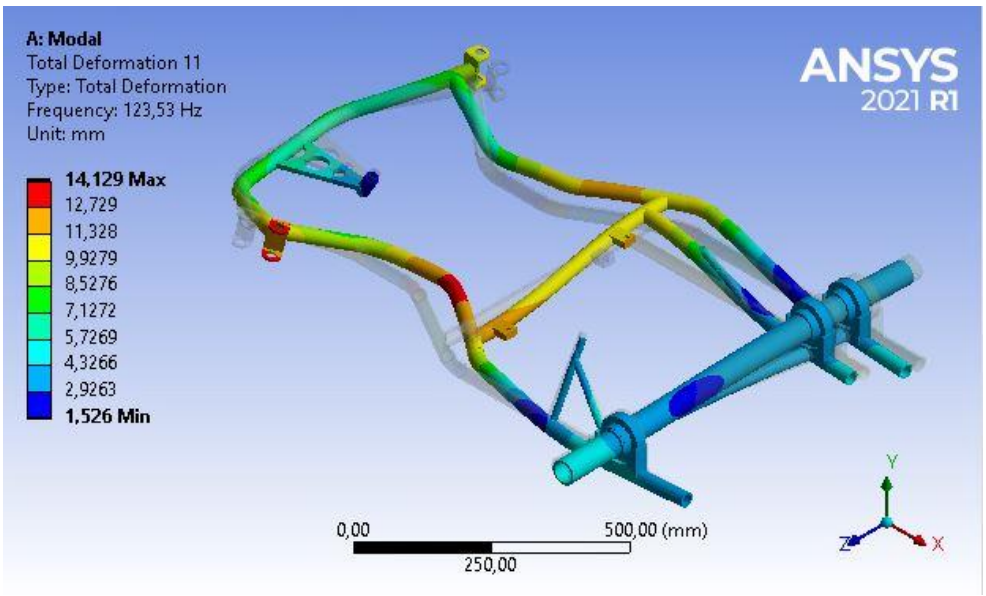



*Figura 5.13 Dall'alto verso il basso: Primo, secondo terzo e quarto modo proprio non nulli del telaio con assale di diametro 50mm (cuscinetti rigidi)*

La figura 5.13 mostra le variazioni delle frequenze naturali passando dal telaio con assale di diametro di 30mm a quello con 50mm. Analizzando nel dettaglio i risultati si vede come:

- *Primo modo elastico, modo Torsionale:* la frequenza naturale aumenta leggermente con l'aumento del diametro dell'assale, passando da 53,83 Hz a 54,14 Hz, questo sta ad indicare che la rigidezza torsionale dell'intera struttura aumenta grazie alla presenza dell'assale.

- *Secondo modo elastico, modo Flessionale:* la frequenza naturale in questo caso passa da 59,27 Hz a 58,78 Hz con l'aumentare del diametro dell'assale.

- *Terzo modo elastico, allungamento laterale:* la frequenza naturale diminuisce all'aumentare del diametro dell'assale.

- *Quarto modo elastico, allungamento longitudinale:* la frequenza naturale aumenta all'aumentare delle dimensioni del diametro dell'assale.

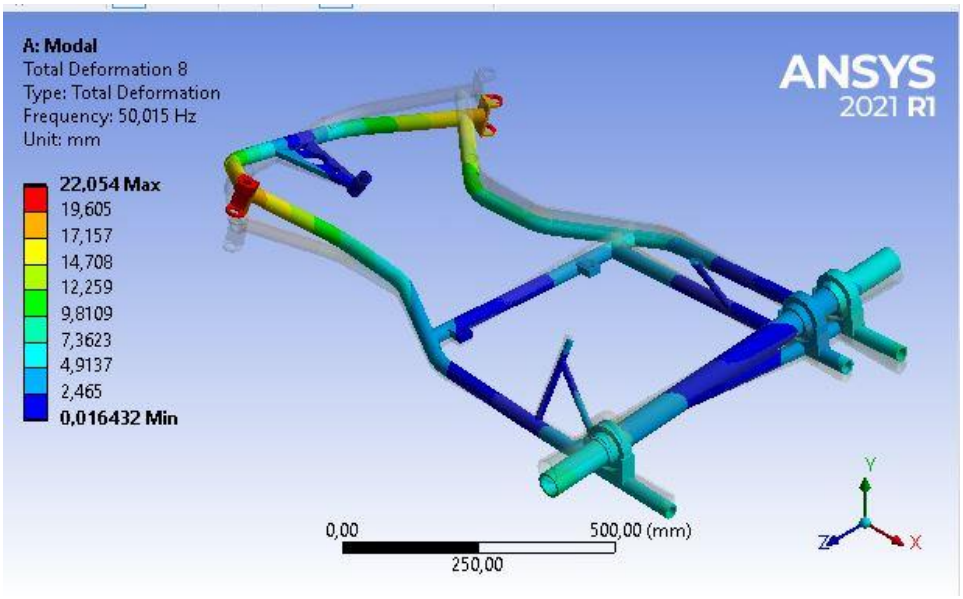
### 5.2.3 Confronto modello telaio con cuscinetti rigidi e modello telaio con cuscinetti basculanti

Come per l'analisi statica anche in quella dinamica la tipologia di contatti influenza molto i risultati previsti. In questa fase, analogamente al paragrafo 5.1.4, verranno confrontati i modelli di telaio con cuscinetti rigidi, contatti "Bonded" e il modello di telaio con cuscinetti basculanti, contatti "No separation". La tabella 10 riporta le frequenze proprie dei due modelli.

| | Frequenza 1° Modo Proprio [Hz] | Frequenza 2° Modo Proprio [Hz] | Frequenza 3° Modo Proprio [Hz] | Frequenza 4° Modo Proprio [Hz] |
|---|---|---|---|---|
| Modello con cuscinetti rigidi | 54,143 | 58,787 | 81,182 | 123,53 |
| Modello con cuscinetti basculanti | 50,015 | 58,131 | 80,565 | 108,84 |

*Tabella 10. Confronto frequenze proprie modello con cuscinetti rigidi e modello con cuscinetti basculanti.*

Il modello con cuscinetti rigidi utilizza dei contatti "bonded" che collegano i cuscinetti all'albero in maniera estremamente rigida. Per questo motivo si riscontra che utilizzando una tipologia di contatti meno rigida, come quelli "no separation", vi siano delle frequenze naturali più basse. Di seguito, nella figura 5.14, sono riportate le forme modali, dei primi quattro modi propri, ottenuti utilizzando il modello con cuscinetti basculanti.



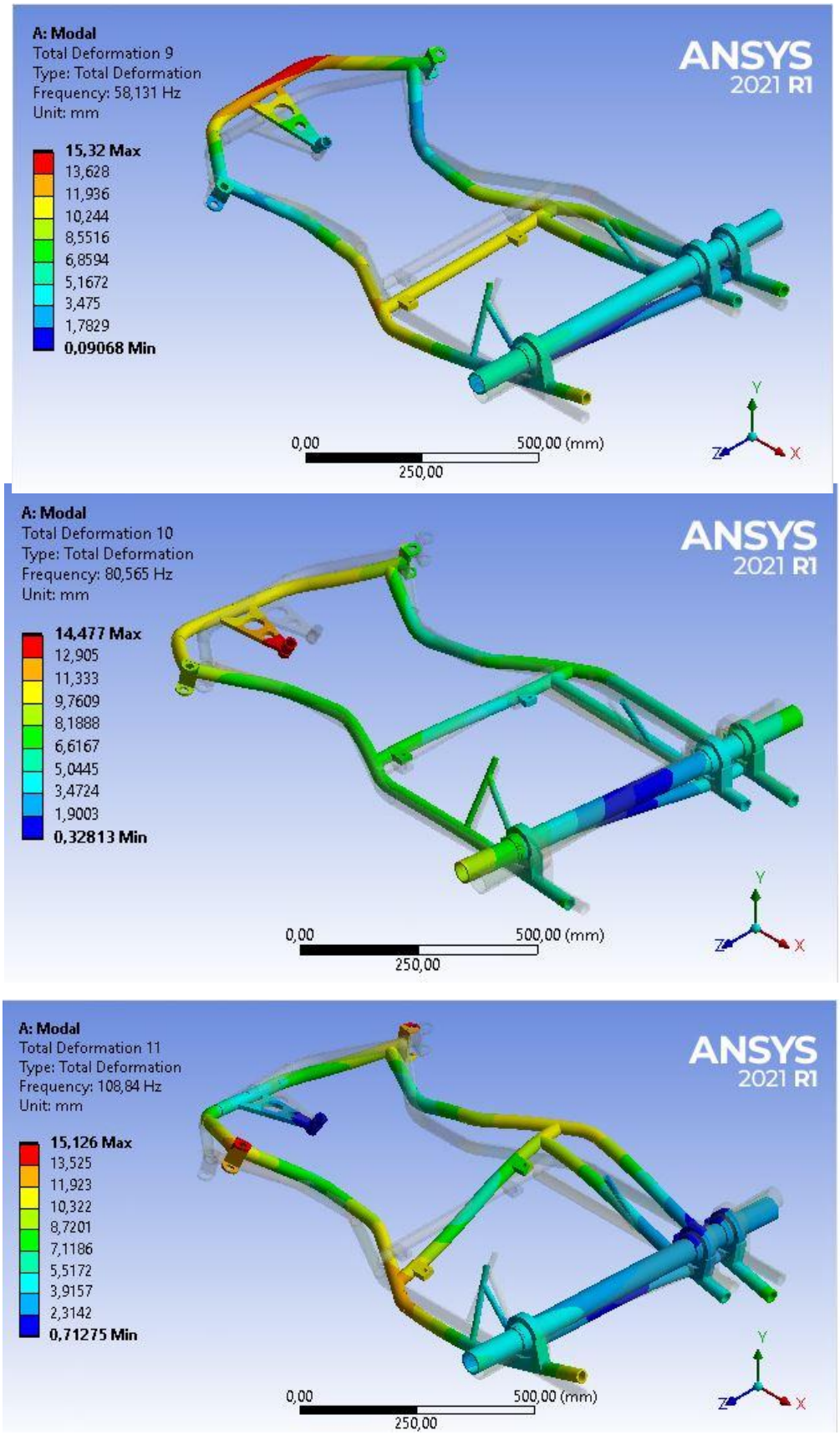



*Figura 5.14 Dall'alto verso il basso: Primo, secondo, terzo e quarto modi propri del modello di telaio con cuscinetti basculanti*

### 5.2.4 Prove dinamiche

Nelle prove precedenti si sono simulati i comportamenti dinamici dei vari modelli al variare degli elementi collegati con il telaio. Per avere una visione più ampia del comportamento dinamico del telaio è utile inserire le masse e le inerzie presenti nel kart durante la guida. Di primaria importanza sono sicuramente le masse e le inerzie del pilota e del motore.

È bene ricordare come il sistema di riferimento sia legato alla norma ISO8855 [18] sia una terna destrorsa con l'asse x rivolto verso l'anteriore, l'asse y rivolto verso sinistra e l'asse z verso l'alto. L'origine degli assi è nel centro dei tubi anteriori posizionato a metà larghezza del telaio. Figura 5.15.

Per simulare la presenza di un corpo in Ansys, si utilizza il comando "Point Mass", che permette di idealizzare gli effetti di inerzia di un oggetto senza aggiungere rigidezza al sistema [19].

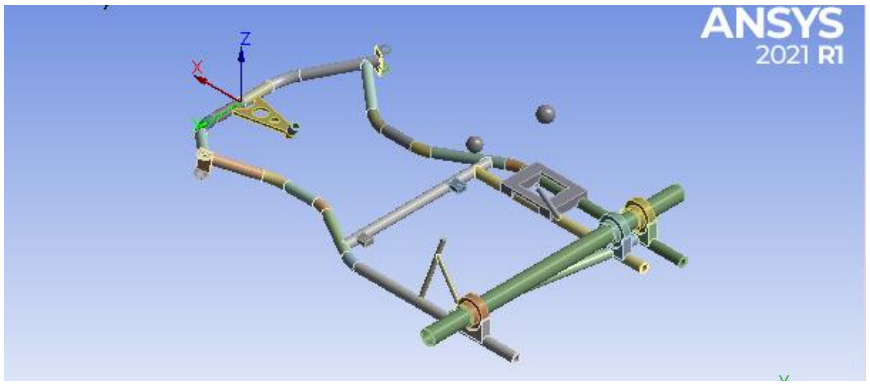



*Figura 5.15 Sistema di riferimento*

Il corpo del pilota è simulato tramite un manichino scaricato dal sito grabcad [13]. La massa del pilota è collegata ai quattro attacchi del sedile e in questa prova è di 70 Kg. I momenti d'inerzia sono calcolati direttamente dal software SolidWorks e valgono:

$$I_{xx,pilota} = 4{,}82\ kg \cdot m^2$$

$$I_{yy,pilota} = 5{,}7\ kg \cdot m^2$$

$$I_{zz,pilota} = 1{,}94\ kg \cdot m^2$$

Le coordinate del centro di massa del pilota, rispetto all'origine, sono anch'esse calcolate direttamente da SolidWorks e valgono: ***C, pilota = (-0,9; 0,06; 0,35) m.***

Il pilota, come si osserva dalle coordinate del suo centro di massa, non è perfettamente al centro del telaio, figura 5.16. Esso è spostato leggermente verso il lato sinistro in modo tale da bilanciare il peso del motore posto nel lato destro del telaio. Il motore è collegato direttamente sulla piastra motore e ha una massa di circa 15 kg. I momenti di inerzia sono stati calcolati approssimando il motore come un parallelepipedo avente base uguale all'area della piastra (larghezza 15 cm e profondità 13 cm) e di altezza di 30 centimetri. I momenti di inerzia così calcolati valgono:

$$I_{xx,motore} = 0{,}13\ kg \cdot m^2$$

$$I_{yy,motore} = 0{,}14\ kg \cdot m^2$$

$$I_{zz,motore} = 0{,}05\ kg \cdot m^2$$

Le coordinate del centro di massa del motore, rispetto all'origine, sono ***C, motore = (-0,84; -0,26; 0,25) m.***

È utile fare una precisazione, simulare il motore con una massa puntiforme che rimane fissa è una approssimazione valida poiché durante la percorrenza di un circuito, in particolare di una curva, il motore rimane in una posizione fissa. Non si può dire lo stesso del pilota, infatti durante una curva varia il centro di massa del pilota, a causa dello schiacciamento del pilota sul sedile, per questo motivo mantenere il centro di massa del pilota fisso è una approssimazione. Si è scelto di accettare questa approssimazione poiché capire come varia il centro di massa è una competenza più anatomica che ingegneristica.

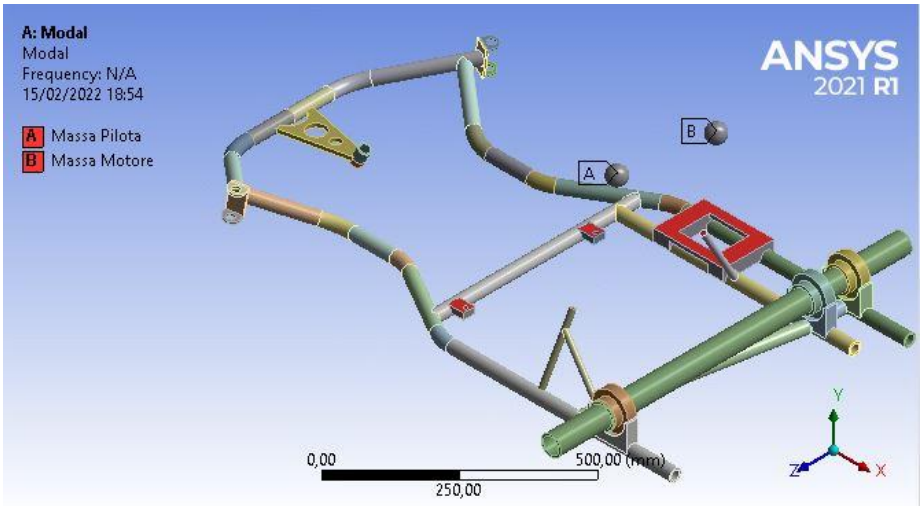



*Figura 5.16 Configurazione modello con masse puntiformi*

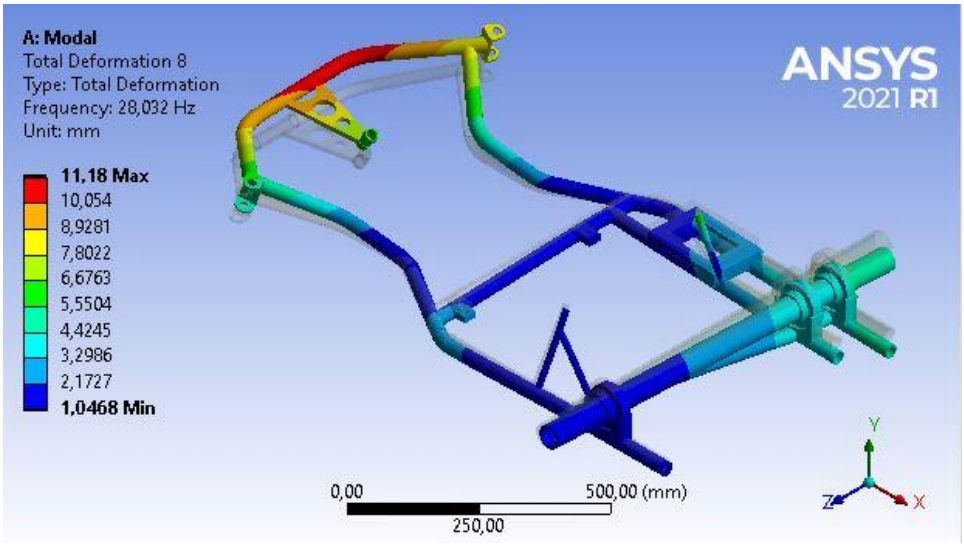
Terminata la descrizione del modello, le frequenze naturali che si ottengono valgono:

| | Frequenza 1° Modo Proprio [Hz] | Frequenza 2° Modo Proprio [Hz] | Frequenza 3° Modo Proprio [Hz] | Frequenza 4° Modo Proprio [Hz] |
|---|---|---|---|---|
| Modello con masse e inerzie del pilota e del motore | 28,032 | 34,201 | 40,409 | 52,651 |

*Tabella 11. Frequenze proprie del modello con massa e inerzie del pilota e del motore*

La figura 5.17 mostra i nuovi valori assunti dalle frequenze naturali. Come si può notare tutte le frequenze ottenute sono minori rispetto al modello senza masse e inerzie (tabella 10). Questo è un risultato previsto poiché, ricordando l'equazione caratteristica, si vede come ci sia una legge di proporzionalità inversa tra i valori delle frequenze naturali e quella della massa del sistema, a parità di rigidezza.

Invece è più complicato prevedere quali saranno le forme modali del nuovo modello; pertanto, i risultati delle simulazioni sono riportate nelle figure seguenti.



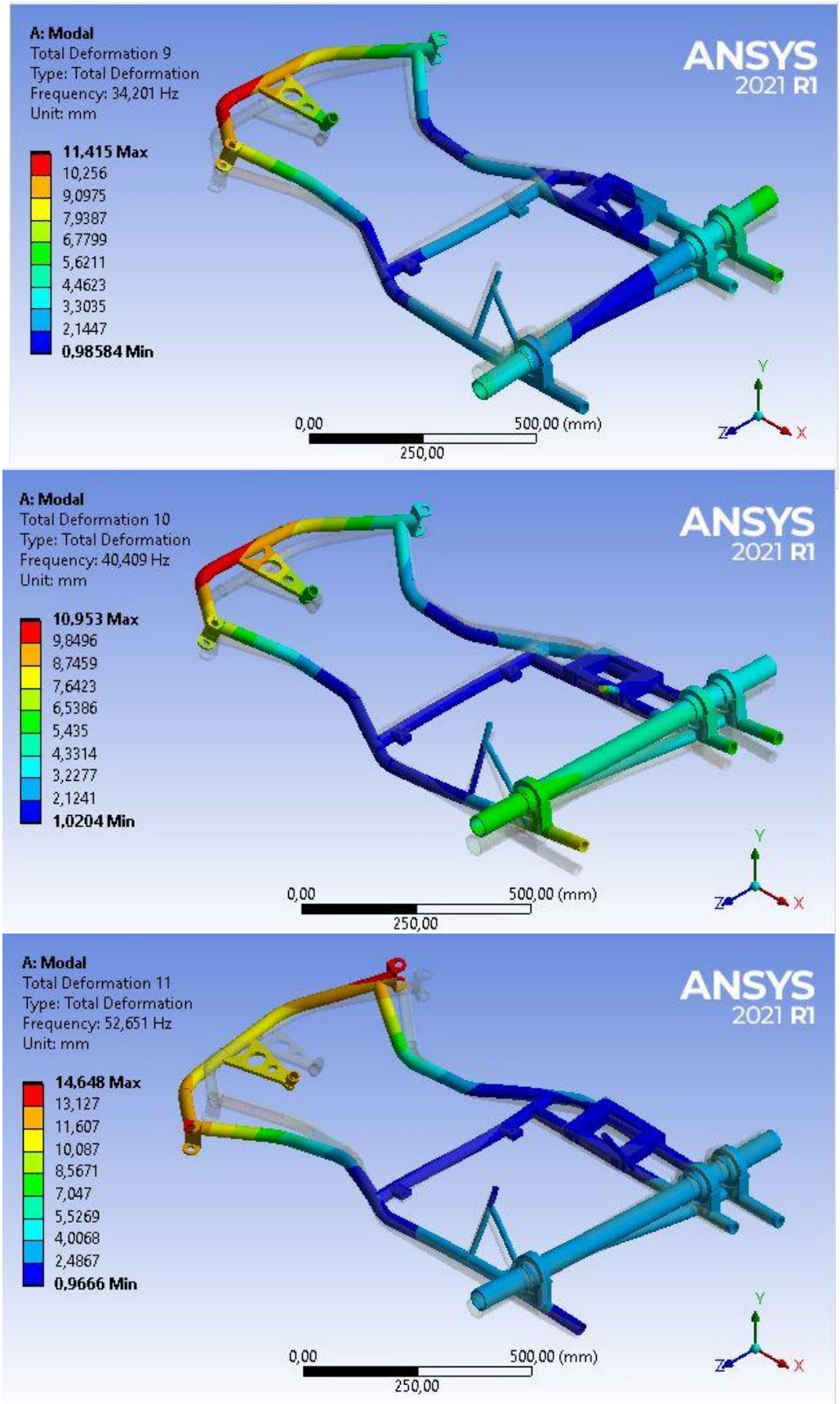



*Figura 5.17 . Dall'alto verso il basso: Primo, secondo, terzo e quarto modi propri del modello di telaio con masse e inerzie del pilota e del motore*

Queste nuove forme modali hanno una grande differenza rispetto a quelle precedenti (figura 5.14), ossia il primo modo proprio è un modo flessionale, mentre il secondo è diventato un modo torsionale, i due modi si sono quindi invertiti rispetto al modello senza masse e inerzie, dove il primo era torsionale e il secondo flessionale. Inoltre, il terzo modo proprio è diventato anche esso un modo flessionale e infine il quarto modo proprio è rimasto un allungamento laterale. La comparsa di un primo modo flessionale indica che il nuovo sistema ha una rigidezza flessionale minore rispetto a quella torsionale probabilmente dovuto alla nuova distribuzione delle masse.

# 6 CONCLUSIONI MODELLAZIONE TELAIO

Nel capitolo precedente si è analizzato il comportamento del telaio in varie configurazioni. Si è prima studiato il comportamento statico, guardando principalmente l'aspetto torsionale, per poi studiare il comportamento dinamico, occupandoci delle frequenze proprie.

Partendo dall'analisi statica si è visto come il telaio sia l'elemento fondamentale all'interno di un kart, poiché essendo quest'ultimo privo di differenziale e di sospensioni, spetti al telaio assolvere a queste funzioni. In particolare, grazie alla sua geometria permette il sollevamento della ruota posteriore interna nelle curve, evitando così slittamenti posteriori che ne ridurrebbero le prestazioni in pista. Inoltre, grazie alle sue caratteristiche elastiche permette di distribuire in modo ottimale i carichi a terra. Per tutti questi motivi nell'analisi statica ci si è concentrati sul solo comportamento torsionale.

Dai risultati si evidenzia come la presenza dell'assale irrigidisca notevolmente l'intera struttura. In particolare, la variazione del diametro dell'albero, che va da 30mm a 50mm, irrigidisce molto di più il sistema rispetto ad una modifica del materiale di costruzione dell'albero stesso, a parità di diametro. Essendo l'assale un elemento di irrigidimento, le sue dimensioni influenzano maggiormente il comportamento torsionale del telaio rispetto al materiale scelto, che deve comunque rientrare nella tipologia dei materiali previsti dal regolamento tecnico.

Nelle prove successive si sono analizzati quali elementi presenti nell'ambiente di simulazione potessero avere maggior influenza sui risultati. Tra quelli analizzati, sicuramente la tipologia

di contatti e le configurazioni di carico e di vincolo sono risultate quelle più importanti. Nello specifico, si è visto come, per l'analisi torsionale posteriore, utilizzando contatti "Bonded", ossia rigidi tra i cuscinetti e l'albero, vi sia un aumento della rigidezza torsionale del 12% rispetto al caso in cui si utilizzano contatti "No Separation", cioè contatti che permettono uno scorrimento tangenziale tra le parti. Inoltre, i risultati mostrano come nelle simulazioni siano estremamente importanti le modalità di applicazione dei vincoli. Se si guarda l'analisi torsionale anteriore, si vede come la presenza dei vincoli rigidi sulle semicirconferenze di alloggiamento dei cuscinetti, annulli completamente la presenza dell'assale di irrigidimento e la tipologia dei contatti, dando quindi una rigidezza torsionale uguale per tutte e tre le prove.

Infine, confrontando i risultati ottenuti dall'analisi torsionale anteriore con quella posteriore, si veda come, oltre alla geometria del telaio stesso, la presenza dell'assale influisca moltissimo. Infatti, nell'analisi torsionale anteriore, dove la presenza dell'assale è nascosta dalla vicinanza dei vincoli rigidi, si riscontra un incremento di rigidezza torsionale del 1,1% tra telaio con assale e telai singolo. Invece, nel caso della torsione posteriore, quindi con vincoli lontani dall'albero, vi è un incremento di rigidezza torsionale del 19% tra telaio singolo e telaio con assale.

Nella parte dinamica si sono svolte analisi modali free-free sul telaio singolo e sul telaio con assale, variando anche qui la tipologia dei contatti. I risultati mostrano come in tutti i casi la prima forma modale sia un modo torsionale, il secondo un modo flessionale e il terzo e quarto modo sia una deformazione laterale. Questo indica che nei modelli esaminati la rigidezza torsionale sia minore rispetto a quella flessionale. Se si confrontano invece i modelli tra loro si vede come le frequenze siano più alte nel caso del telaio con assale rispetto al telaio singolo, questo perché la presenza dell'albero aumenta maggiormente la quota parte della rigidezza rispetto all'aumento della massa. Come per l'analisi statica anche nella parte dinamica la tipologia dei contatti ha una forte influenza sui risultati, infatti il modello con cuscinetti "Bonded", rigidi, presenta valori delle frequenze maggiori rispetto al modello con contatti "No Separation", meno rigidi.

Infine, come ultima prova, si è esaminato il comportamento dinamico del telaio con assale aggiungendo le masse e le inerzie del pilota e del motore, cercando così di creare un modello che si avvicini maggiormente alla realtà. I risultati evidenziano come tutte le frequenze naturali abbiano assunto dei valori molto più bassi rispetto ai modelli precedenti. In

particolare, i risultati mostrano come il primo modo proprio non nullo sia diventato un modo flessionale mentre il secondo sia diventato un modo torsionale a causa della nuova distribuzione delle masse.

# 7 DINAMICA DEL VEICOLO

La dinamica del veicolo è un ramo dell'ingegneria che studia il moto del veicolo a seguito delle forze d'inerzia e delle forze esterne a essa applicate. Il veicolo può essere rappresentato come un elemento di un sistema più ampio, in cui compaiono oltre al veicolo stesso, il conducente, altri utenti della strada, la strada stessa e anche le condizioni ambientali. Allo stesso tempo, tuttavia, il veicolo può anche essere rappresentato come un macrosistema in cui interagiscono molti sottosistemi quali le ruote, il motore i freni, l'albero motore e così via. Gli strumenti principali che si utilizzano nello studio della dinamica del veicolo sono:

- *Diagramma di corpo libero ed equazioni di equilibrio:* schematizzazione di forze e momenti esterni e d'inerzia che permette di stabilire tramite equazioni l'equilibrio del corpo
- *Equazioni di stato:* equazioni che uniscono la posizione di un corpo con la sua velocità
- *Equazioni costitutive:* equazioni che uniscono la posizione di un corpo con le forze presenti o tra forze e velocità

L'obbiettivo principale della dinamica del veicolo è quello di capire il funzionamento dei sottosistemi presenti e da questi prevedere e analizzare il comportamento del mezzo completo.

Nell'ingegneria del veicolo si utilizza un sistema di riferimento definito dalla ISO8855, [18], ed è lo stesso che si utilizza nell'ingegneria navale ed aerospaziale. Normalmente l'origine degli assi si trova nel centro di massa del veicolo. Come si vede dalla figura 7.1, l'asse $x$ è l'asse longitudinale ed è rivolto verso l'anteriore, l'asse $y$ è in direzione laterale rivolto verso sinistra e l'asse $z$ è in direzione verticale rivolto verso l'alto.

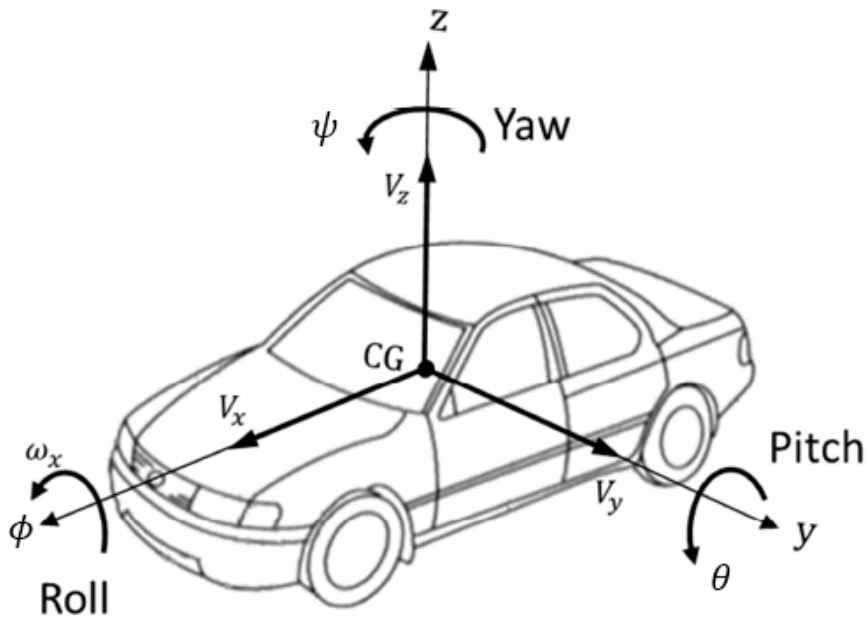



*Figura 7.1. Sistema di riferimento ISO8855 (Normativa ISO 8855, 2011)*

Lungo l'asse *x* sono presenti le forze longitudinali e i momenti di rollio (*roll*), lungo l'asse *y* ci sono le forze laterali e i momenti di beccheggio (*pitch*) e infine lungo l'asse *z* le forze verticale e momenti di imbardata (*yaw*).

Definito il sistema di riferimento e le configurazioni principali utilizzate nello studio del veicolo non rimane che iniziare a studiare il comportamento delle interfacce tra mezzo e ambiente circostante.

## *7.1 Contatto ruota suolo*

Le ruote sono sicuramente l'interfaccia principale che collega il veicolo all'ambiente esterno, ossia il manto stradale. In particolare, gli pneumatici trasmettono forze e momenti necessari per accelerare, frenare e sterzare. Allo stesso tempo, trasmettono le vibrazioni dovute alle asperità della strada.

### 7.1.1 Descrizione pneumatico

Gli pneumatici dispongono di un proprio sistema di coordinate, e le forze evidenziate nella figura 7.3 sono quelle agenti sulla ruota provenienti dal terreno. L'origine viene individuata grazie all'intersezione di tre piani: il piano stradale (*road plane*), il piano medio longitudinale della ruota *(wheel plane)* e il piano verticale perpendicolare al piano stradale *(perpendicular to road plane)*. Sempre dalla figura si nota come le forze presenti siano in funzione di angoli geometrici variabili. In particolare, gli angoli presenti sono [20]:

- *Angolo di deriva α*: è l'angolo compreso tra la direzione longitudinale della ruota e la direzione della velocità di avanzamento $V_T$ della ruota. (visibile nella figura 7.3)
- *Angolo di camber o di campanatura γ o $\varepsilon_w$:* è l'inclinazione del piano medio della ruota rispetto all'asse verticale del veicolo. (visibile nella figura 7.3)
- *Angolo di sterzata δ:* l'angolo di sterzata è compreso tra l'asse longitudinale del veicolo e l'asse longitudinale della ruota. (Figura 7.17)
- *Angolo di Caster:* è l'inclinazione tra l'asse di sterzo e l'asse verticale del veicolo. Visibile nel piano *xz* del veicolo. (figura 7.2)
- *Angolo di Ackerman:* è un angolo cinematico tale per cui le ruote anteriori presentano angoli di sterzo differenti. (Figura 7.11)

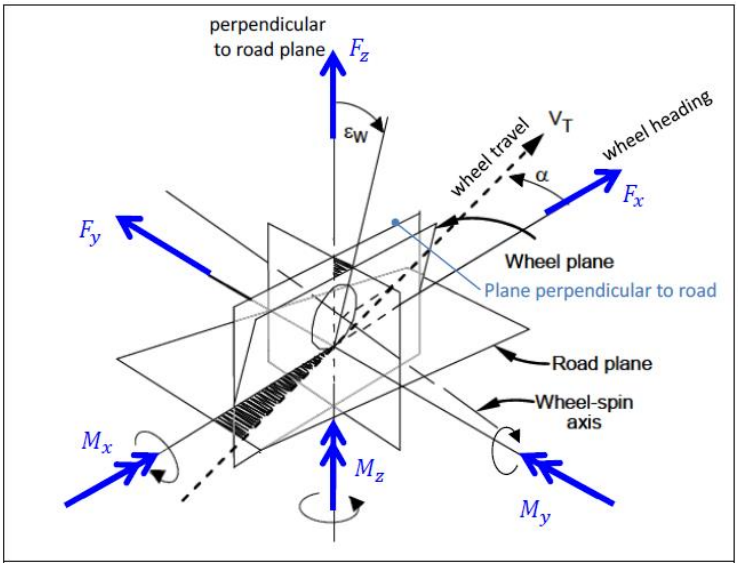



*Figura 7.3. Sistema di coordinate ruota, angolo di deriva e angolo di camber [20]*

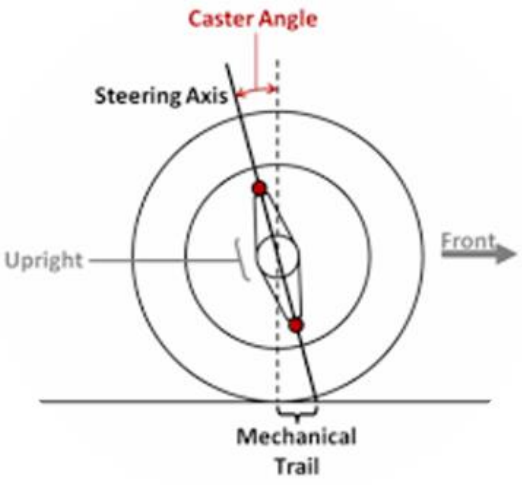



*Figura 7.2Angolo di Caster (sito web Trinacria Simracing)*

Prima di descrivere tutte le forze che nascono dal contatto ruota suolo è utile spendere qualche parola per descrivere la composizione e la struttura fisica dello pneumatico.

Le gomme sono costruite per raggiungere un compromesso tra le prestazioni di guida, comfort, resistenza al rotolamento ed usura. Il materiale principale presente negli pneumatici è la gomma sintetica, un terzo della composizione totale è costituta da additivi come silice, silani e fumo nero che conferiscono miglior resistenza al rotolamento e permettono un'usura minore. Infine, negli pneumatici sono presenti materiali di rinforzo, quali fili d'acciaio, che conferiscono alla ruota una miglior tenuta al cerchio e una maggior resistenza ai carichi verticali.

Il primo elemento caratteristico degli pneumatici è il battistrada (tread), visibile nella figura 7.4. È l'elemento attraverso cui avviene lo scambio di forze longitudinali, laterali e i momenti. Il battistrada presenta solitamente delle scanalature che permettono di evacuare l'acqua. Negli pneumatici da gara non sono presenti le scanalature per aumentare le superficie di contatto e così l'aderenza; in caso di pioggia invece si utilizzano pneumatici scanalati rain. La carcassa (body ply) degli pneumatici influisce molto sulla risposta dello pneumatico ai diversi carichi stradali. Essa è costituta da una fitta rete di fili incrociati che conferiscono la rigidezza necessaria allo pneumatico. Le cinghie (belt) agiscono sulla resistenza circonferenziale dello pneumatico. Il fianco (sidewall) e le tele (piles) garantiscono la resistenza laterale e di conseguenza influenzano anche il comportamento laterale della ruota. [21].

*Figura 7.4 Battistrada pneumatico da corsa slick e sensore di temperatura in prossimità del battistrada (foto presa dal sito Tkart)*

Prima di analizzare le forze agenti durante il contatto ruota suolo, è utile riprendere e approfondire l'influenza degli angoli cinematici presenti negli pneumatici, sull'intero assetto del kart.

1. *Angolo di deriva α*; compreso tra l'asse longitudinale della ruota e la direzione della velocità di avanzamento V della ruota, figura 7.5, e nasce dalla deformazione elastica dello pneumatico. Matematicamente è definito come l'arcotangente del rapporto tra la componente laterale della velocità della ruota $V_t$ e la sua componente longitudinale $V_l$

$$\alpha = \tan^{-1}\frac{V_t}{V_l} \qquad 7.1$$

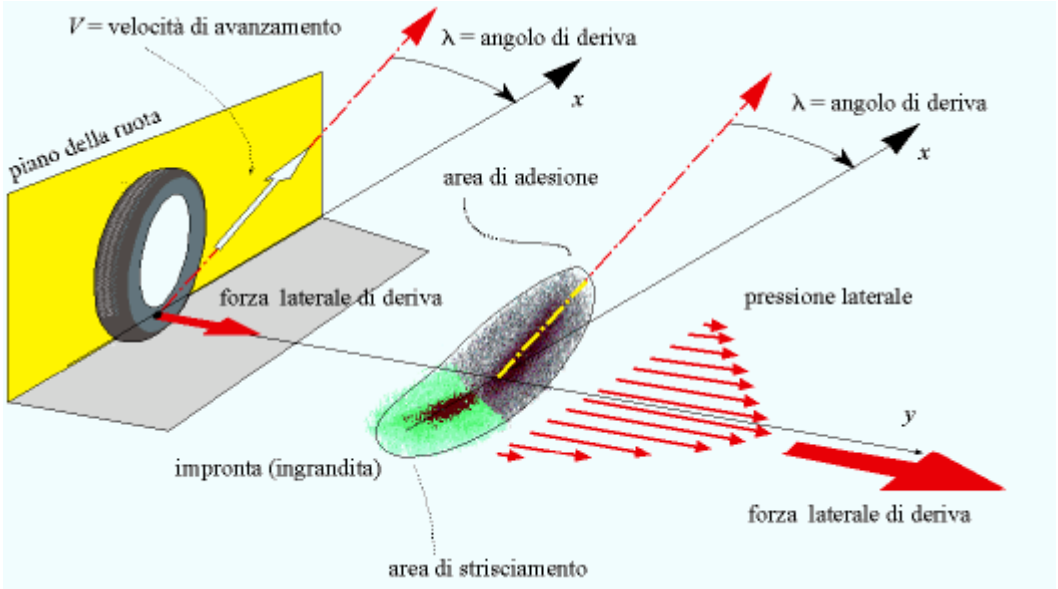



*Figura 7.5 Angolo di deriva, impronta di contatto e forza laterale di deriva (sito web dynamotion.it)*

La forza laterale $F_y$ è influenzata da diversi parametri come: il carico verticale $F_z$, l'angolo di deriva $\alpha$ e le caratteristiche fisiche dello pneumatico $(C_y, C_\alpha)$, di cui si parlerà in seguito. Come riportato dal grafico presente nella figura 7.6, l'angolo di deriva presenta un valore limite massimo, tra i 6 e 8 gradi, oltre il quale la forza laterale inizia a diminuire. [22] Questo significa che oltre un certo valore di $\alpha$ lo pneumatico non riesce ad incrementare la forza laterale scambiata, ma anzi, la forza laterale diminuisce. Questa caratteristica spiega il fenomeno del sottosterzo che avviene quando si esagera con l'angolo di volante in curva. Si dice che un veicolo è ***sottosterzante*** quando le ruote anteriori perdono aderenza e slittano prima di quelle posteriori. Il kart tende così ad

aumentare il raggio di curvatura e si allarga verso l'esterno della curva con la parte anteriore. Al contrario se le ruote posteriori perdono aderenza prima di quelle anteriori il veicolo è definito ***sovrasterzante*** e nelle curve la coda del veicolo tende ad andare verso l'esterno.

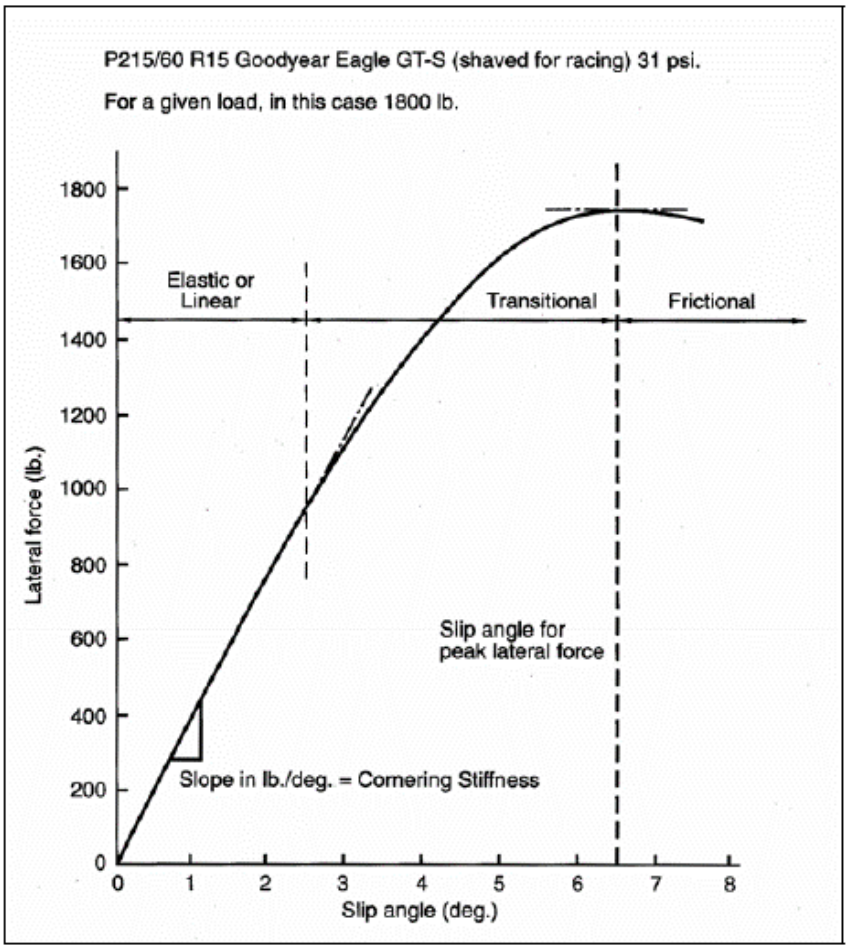



*Figura 7.6 Forza laterale in funzione dell'angolo di deriva per un pneumatico per un veicolo da corsa [22]*

2. *Angoli di Camber e Caster*. I kart nelle curve presentano differenze di percorso tra le ruote interne e quelle esterne. Per le ruote anteriori, scollegate tra di loro, è possibile avere differenze di percorso tra le ruote interne e quelle esterne solo se le ruote esterne girano con una velocità angolare maggiore rispetto a quelle interne. Nelle ruote posteriori motrici, invece, poiché sono collegate dall'albero rigido, non è possibile avere due velocità di rotazioni differenti. Questo problema può essere risolto, nel karting, tramite la regolazione degli angoli di Camber e di Caster; infatti, agendo su questi due angoli è possibile ottenere una configurazione tale da permettere il sollevamento della ruota interna posteriore durante la percorrenza di una curva.

L'angolo di ***Camber (γ o $\varepsilon_w$)*** è l'inclinazione del piano medio verticale della ruota rispetto al piano verticale perpendicolare al suolo, figura 7.8. Si definisce camber negativo se la parte superiore della ruota è rivolta verso l'interno mentre si parla di camber positivo se è rivolta verso l'esterno. La presenza dell'angolo di Camber negativo nelle ruote anteriori permette una minore tenuta a metà curva poiché si ha una superficie di contatto ruota-suolo ridotta. Grazie all'inclinazione della ruota il contatto avverrà tramite la spalla dello pneumatico anziché con tutto il battistrada. L'angolo di ***Caster***, figura 7.7, è l'inclinazione dell'asse del perno del fusello rispetto alla direzione verticale. Grazie a questo angolo le ruote anteriori assumono altezze diverse durante le curve consentendo così il sollevamento della ruota posteriore interna.

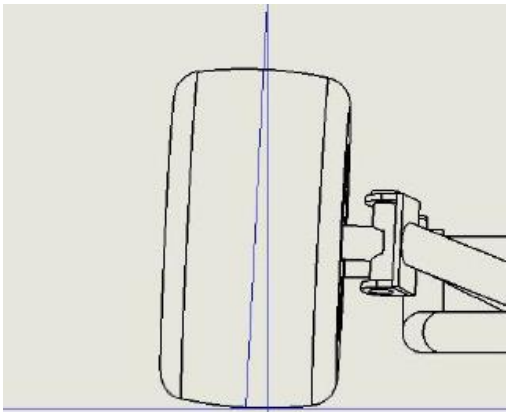


*Figura 7.8 Angolo di Camber (negativo)*

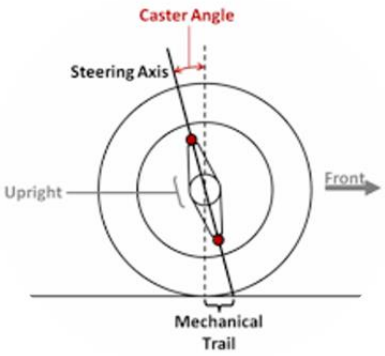



*Figura 7.7 Angolo di Caster ((sito web Trinacria Simracing)*

La regolazione degli angoli di Camber e di Caster viene eseguita tramite l'utilizzo di una boccola eccentrica inserita all'interno dei fuselli anteriori come si osserva nella figura 7.9.

*Figura 7.9 Regolazione angoli di Camber e Caster tramite boccola eccentrica (sito web corsaracingkart)*

I due angoli possono variare, generalmente, fra 0 e 10 gradi ciascuno, le loro combinazioni consentono di ottenere una grande varietà di configurazioni possibili, permettendo così di scegliere la configurazione più opportuna in base alla tipologia di circuito. Regolando i due angoli il sollevamento della ruota posteriore interna può arrivare sino ad una altezza massima di circa 10 mm. [23]

3. *Angolo di Ackermann*. L'angolo di Ackermann nasce dall'esigenza di percorrere traiettorie differenti, in curva, per le ruote anteriori. Per un kart in curva, è necessario avere un centro di rotazione intorno alla quale le ruote possano girare. Se durante la curva le due ruote anteriori fossero perfettamente parallele, non si creerebbe alcun centro di rotazione, causando così slittamenti e frizioni tra battistrada e asfalto anche per le ruote sterzanti anteriori. Grazie all'angolo di Ackermann le due ruote anteriori possono sterzare con angoli differenti in modo da creare un solo centro di rotazione, come in figura 7.11. È possibile ottenere un angolo di Ackermann diverso da zero utilizzando fuselli costruiti con il braccetto orientato verso l'interno del telaio che si va a collegare con la bacchetta dello sterzo, figura 7.10. Grazie a questa geometria si ottengono angoli di sterzata differenti per le due ruote anteriori. Le equazioni che costituiscono il sistema di Ackermann sono riportate più avanti, nel paragrafo 7.2.2. [20]

*Figura 7.10 Braccetto e bacchette che costituiscono il sistema di Ackermann. (sito web kartinghelpdesk)*

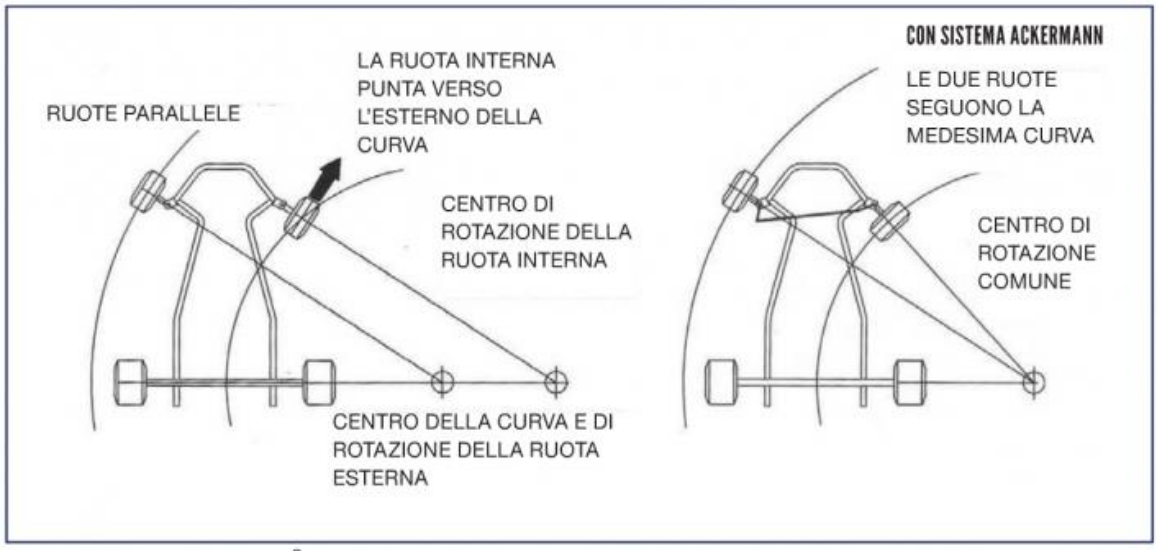



*Figura 7.11 Schema del cinematismo che compone l'angolo di Ackermann (sito web Vroom Kart)*

### 7.1.2 Modello a spazzola (Brush model)

Il modello a spazzola è il più semplice tra quelli utilizzati per modellare le forze del contatto ruota-suolo. L'insieme pneumatico e cerchione è assimilato ad un disco sottile di raggio R, deformabile. Il cerchione è rigido mentre lo pneumatico è formato da una serie di setole deformabili. Le setole resistono alle deformazioni circonferenziali ma non resistono alle deformazioni radiali, figura 7.12.

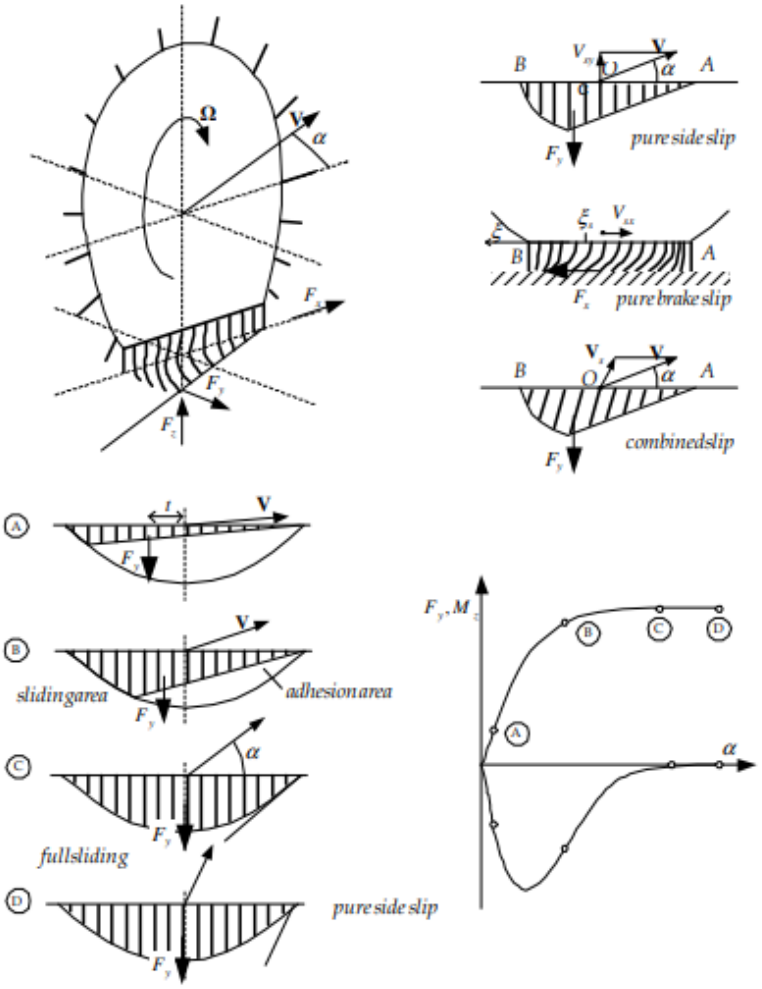



*Figura 7.12 Modello a spazzola (H. Pacejka, "Tire and Vehicle Dynamics" Butterworth-Heinemann, 2012)*

Normalmente, nel caso cinematico, è possibile collegare la velocità di avanzamento della ruota $V_x$, con la velocità angolare ω e il raggio della ruota R, tramite l'equazione

$$V_x = \omega \cdot R \qquad 7.2$$

Come riportato nella figura 7.13 in condizioni di rotolamento ideale i due termini dell'equazione sono uguali. Questo non accade se è presente una coppia e una forza verticale, poiché il raggio di rotolamento effettivo varia. Nasce così una velocità relativa tra lo pneumatico e la strada. Il rapporto tra questa velocità relativa e la velocità di riferimento è chiamato scorrimento (*tyre slip*). Lo scorrimento longitudinale per una ruota motrice vale:

$$s_x = \frac{v_x - \omega \cdot R}{\omega \cdot R} < 0 \qquad 7.3$$

Mentre lo scorrimento longitudinale per una ruota frenata o trascinata è

$$s_x = \frac{v_x - \omega \cdot R}{v_x} > 0 \qquad 7.4$$

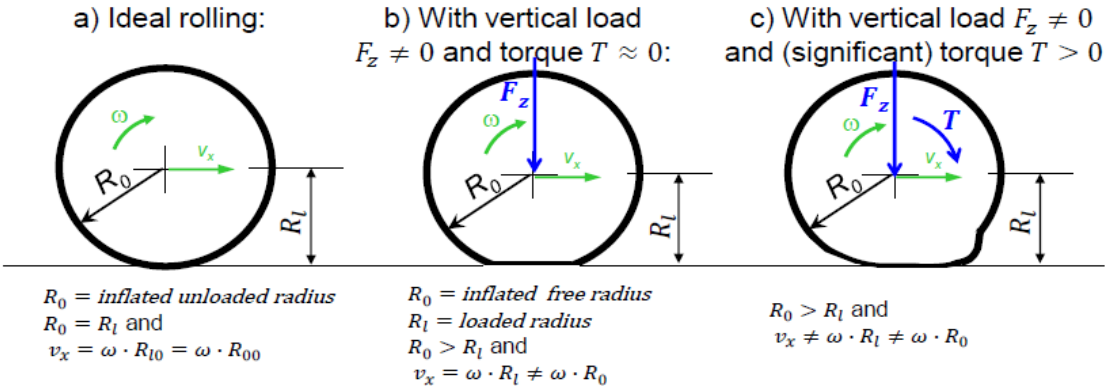



*Figura 7.13 Condizioni di rotolamento. (Vehicle Dynamics, Chalmers University of Technology [20])*

Generalmente la distribuzione di pressioni nell'impronta di contatto tra ruota e suolo è simmetrica, figura 7.14. Applicando una coppia, la distribuzione di pressione non è più simmetrica e nasce quindi una forza di resistenza al rotolamento $F_R$.

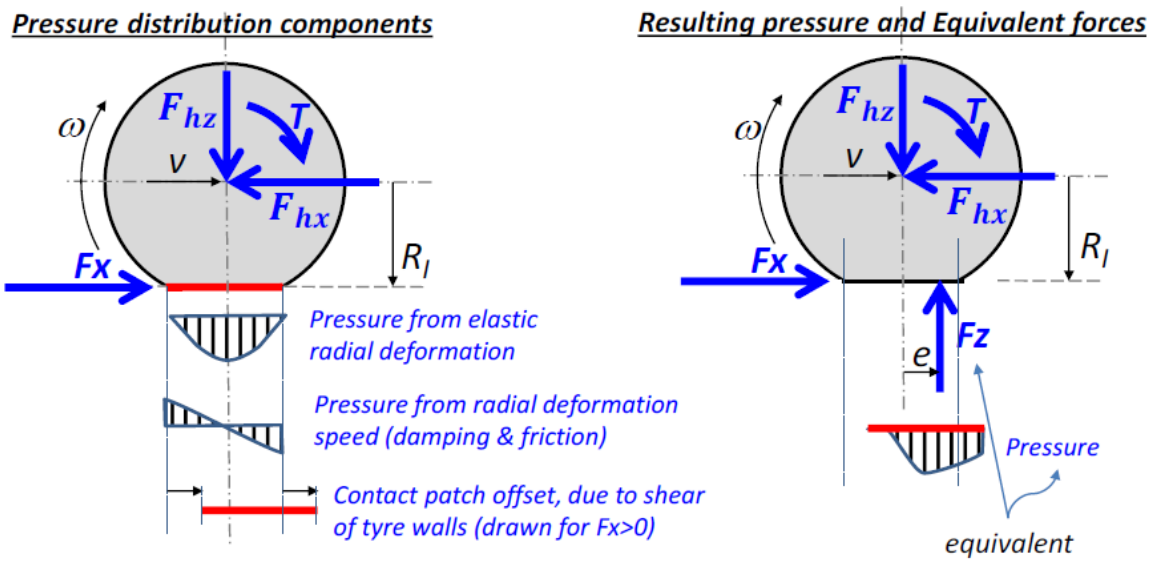



*Figura 7.14 Distribuzione delle pressioni (Vehicle Dynamics, Chalmers University of Technology [20])*

È possibile esprimere un coefficiente di resistenza al rotolamento definito come:

$$f_r = \frac{e}{R_l} \qquad 7.4$$

$$\begin{cases} F_x = \frac{T}{R_I} - f_r \cdot F_z \\ F_R = f_r \cdot F_z \end{cases} \tag{7.6}$$

Dove se la ruota è condotta la Fx risulta negativa.

### *7.1.2.1 Comportamento longitudinale*

Nel modello a spazzola le setole entrano nella zona di contatto e grazie alla loro deformabilità possono compensare una velocità relativa tra ruota e suolo senza generare slittamenti eccessivi; l'ipotesi base di questo modello è quella di avere deformazioni delle setole indipendenti. In questo caso si ipotizza che ruota e suolo generino un'impronta di contatto rettangolare, si definiscono 2a (talvolta espresso come L) e 2b la lunghezza e la larghezza dell'impronta e si considera una distribuzione di pressione parabolica.

Per le future trattazioni è utile creare una coordinata locale ξ diretta dal punto A, *inlet*, verso il punto B, *outlet*, quindi $0 \leq \xi \leq 2a$ (L), figura 7.15.

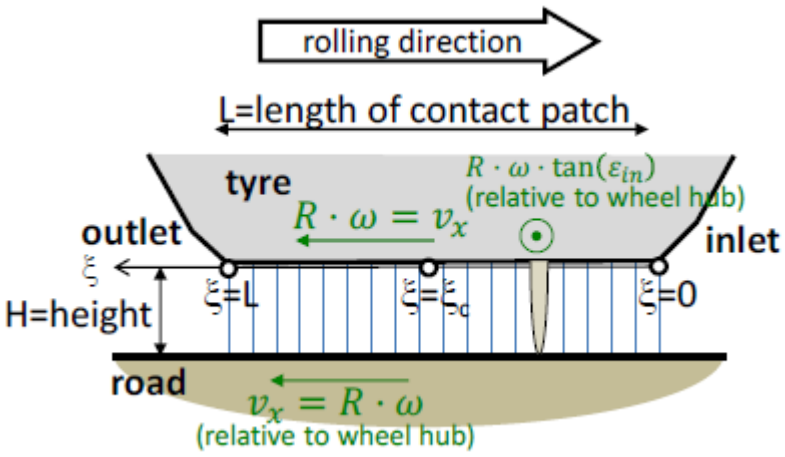



*Figura 7.15 Coordinata locale ξ relativa all'impronta di contatto (Vehicle Dynamics, Chalmers University of Technology [20])*

Nel modello a spazzola si considerano altre due ipotesi:

- Deformazioni delle setole lineari, comportamento lineare e isotropo
- Deformazioni delle setole proporzionali alla forza tangenziale

Grazie a queste ultime due ipotesi è possibile legare, utilizzando una costante di proporzionalità $C_x$, la tensione $\tau_x(\xi)$ agente sulla setola con la sua deformazione $u(\xi)$, ottenendo:

$$\tau_x(\xi) = C_x \cdot u(\xi) \qquad 7.7$$

$C_x$ è la rigidezza longitudinale dello pneumatico *(Longitudinal Tyre Stiffness)* ed è in funzione di vari fattori, quali: il carico verticale, l'attrito, la temperatura e le caratteristiche dello pneumatico. Dal grafico nella figura 7.16, si osserva come per bassi valori di scorrimento $s_x$, l'aumento della forza longitudinale ha un andamento lineare; in questa zona è possibile definire la rigidezza longitudinale $C_x$ come la tangente alla curva a scorrimento nullo, ed è espressa dall'equazione 7.8, sottostante. La rigidezza longitudinale dello pneumatico $C_x$ si misura in N=N/1; guardando l'unità di misura si nota come, seppur venga chiamata rigidezza, $C_x$ non sia una rigidezza nel senso convenzionale, cioè forza su deformazione, ma sia un parametro indicativo dello pneumatico.

$$C = -\frac{\partial F_x}{\partial s_x}\Big|_{s_x=0} \qquad 7.8$$

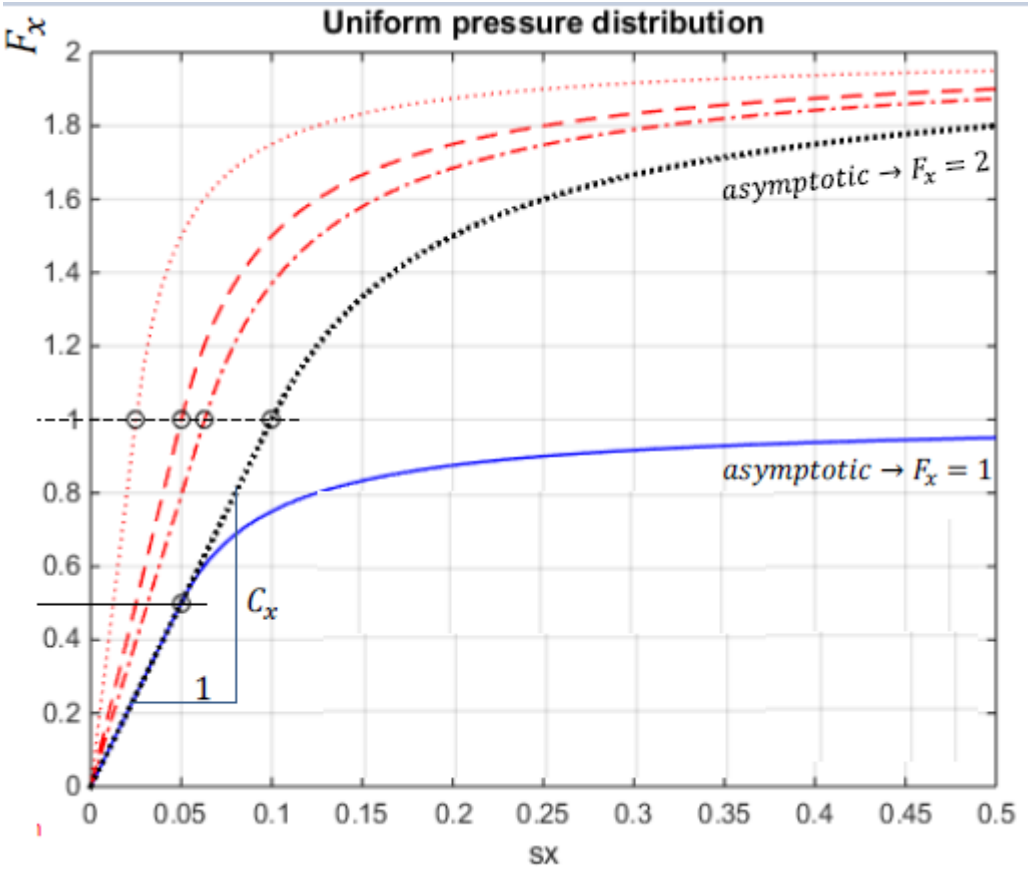



*Figura 7.16 Andamento della forza longitudinale in funzione dello scorrimento sx (Vehicle Dynamics, Chalmers University of Technology [20])*

Nel modello a spazzola le variazioni di $F_z$ non possono essere trattate facilmente. Infatti, anche se compare direttamente nelle formule, la forza $F_z$ influenza anche altri parametri, come: la lunghezza dell'impronta 2a, la pressione massima nell'impronta di contatto e la rigidezza longitudinale e laterale degli pneumatici. Nel modello a spazzola si trascurano questi effetti e si ipotizza una dipendenza lineare tra la rigidezza e la forza verticale.

Dopo alcuni passaggi matematici [24], è possibile giungere alla seguente equazione

$$\tau_x(\xi) = -C_x s_x \xi \tag{7.9}$$

Dall'equazione 7.9 si vede come la tensione tangenziale lungo x sia direttamente proporzionale allo scorrimento $s_x$ e alla coordinata legata all'impronta ξ; risulta quindi che, per ottenere delle forze longitudinali, lo slittamento $s_x$ debba essere diverso da zero.

Negli pneumatici reali esiste un limite massimo per cui si ha scorrimento, una volta superato questo si ha completo slittamento. Il limite è dato dalla condizione di raggiungimento della massima tensione tangenziale, che è data dal prodotto di coefficiente statico di aderenza $\mu_a$( $o\ a\ volte\ \mu_0$) per la pressione locale $p(\xi)$. Con $\mu\ (talvolta\ \mu_1)$ viene indicato il coefficiente di attrito dinamico, $\mu < \mu_a$.

$$\begin{cases} \tau_x(\xi) = -C_x s_x \xi & se \quad |\tau_x(\xi)| \le \mu_a \cdot p(\xi) \\ \tau_x(\xi) = \mu\, p(\xi) & altri\ casi \end{cases} \tag{7.10}$$

All'interno dell'impronta dello pneumatico è possibile distinguere due zone: una zona di aderenza (*stick region or adherence)* e una zona di slittamento (*slip region)*, figura 7.17. Nella zona iniziale di aderenza si ha una proporzionalità diretta tra la tensione tangenziale e lo scorrimento, mentre nella zona finale di slittamento si ha che la tensione tangenziale è solo funzione della pressione di contatto.

$$\tau_x(\xi) = \begin{cases} -C_x s_x \xi, & se \quad 0 \le \xi \le \xi_s \quad (zona\ di\ aderenza) \\ \mu \cdot p(\xi), & se \quad \xi_s \le \xi \le 2a \ \text{(zona di slittamento)} \end{cases} \tag{7.11}$$

Nella figura 7.17 si osserva la prima zona di aderenza in cui la tensione è funzione solamente della rigidezza dello pneumatico $C_x$ e dello scorrimento $s_x$. La transizione tra zona di aderenza e zona di slittamento avviene al raggiungimento del parametro $\xi_s$, dopodiché le tensioni sono limitate solamente dalla forza d'attrito dinamico.

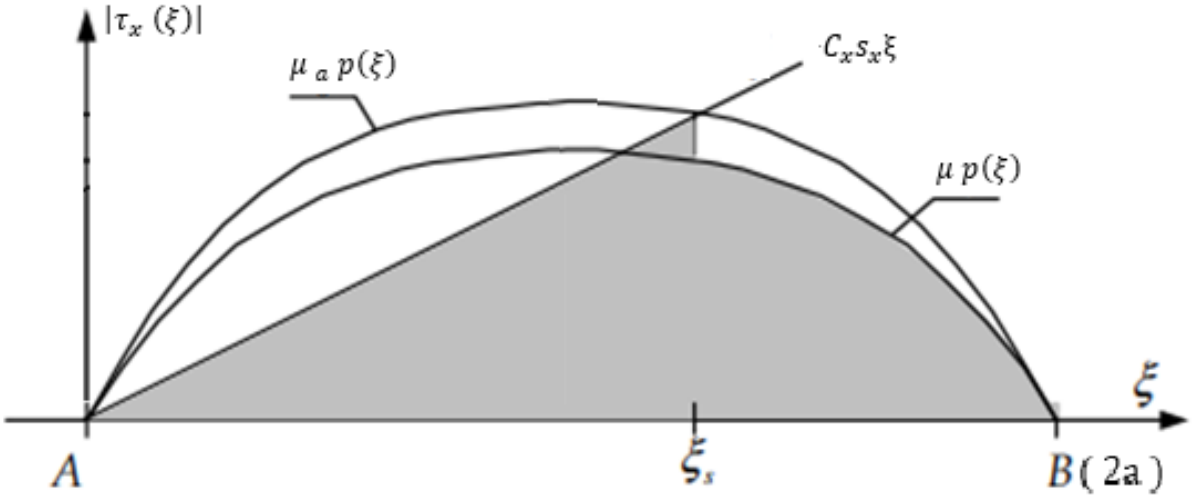



*Figura 7.17 Distribuzione delle tensioni lungo impronta di contatto*

Il passaggio dalle tensioni tangenziali alle forze si ottiene eseguendo l'integrale su tutta la lunghezza dell'impronta di contatto

$$F_x = \int_0^{2a} \tau \cdot d\,\xi \tag{7.12}$$

In definitiva si ottiene

$$F_x = \begin{cases} \int_0^{2a} \tau \cdot d\,\xi = -C_x s_x, & se\ |\tau| < \mu_a \cdot p \\ \int_0^{2a} \tau \cdot d\,\xi = -\mu \cdot F_z, & se\ |\tau| = \mu \cdot p \end{cases} \tag{7.13}$$

Dall'equazione dello scorrimento si ricorda che durante la trazione $s_x < 0$ e quindi $F_x > 0$, mentre in condizioni di frenata si ha $s_x > 0$ e $F_x < 0$.

### *7.1.2.2 Comportamento laterale*

Per il tipo di veicolo studiato il modo per controllare la direzione di marcia è cambiare l'orientazione delle ruote. Ogni volta che gli pneumatici sono orientati in modo diverso rispetto alla direzione del veicolo, essi generano una forza laterale.

Anche in questo caso è possibile utilizzare il modello a spazzola per descrivere le forze che nascono nel contatto ruota suolo e, come in precedenza, si utilizza l'ipotesi di deformazioni indipendenti delle setole.

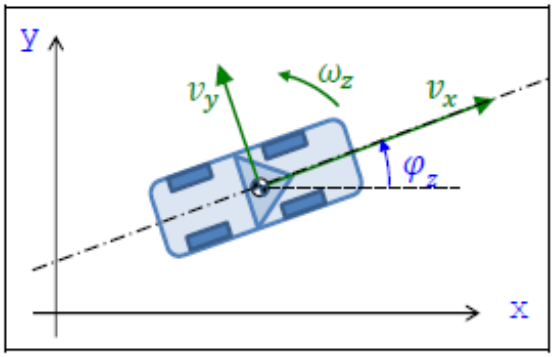



*Figura 7.18 Sistema di coordinate in funzione dell'angolo di sterzata (Vehicle Dynamics, Chalmers University of Technology [20])*

Anche in questo caso è possibile definire uno scorrimento laterale $s_y$

$$s_y = \frac{-v_y}{|R \cdot \omega|} \tag{7.14}$$

Analogamente per il comportamento longitudinale, anche in quello laterale vi sarà un limite massimo di scorrimento dovuto al coefficiente di attrito, quindi si può scrivere:

$$F_y = \begin{cases} = -C_y s_y, & se\ |\tau_y| < \mu_a \cdot p \\ = -\mu \cdot F_z, & se\ |\tau_y| = \mu \cdot p \end{cases} \tag{7.15}$$

$C_y$ è la rigidezza laterale dello pneumatico (*Lateral tyre slip stiffness*), $s_y$ è lo scorrimento laterale e $\mu_a\ e\ \mu$ sono rispettivamente il coefficiente di attrito statico e il coefficiente di attrito dinamico. $(\mu < \mu_a)$

In molti modelli, in cui l'angolo di deriva α è piccolo e lo scorrimento laterale $s_y$ è trascurabile, è possibile utilizzare la seguente approssimazione:

$$F_y = -C_y \cdot s_y\ o\ F_y = -C_\alpha \cdot \alpha \tag{7.16}$$

$C_\alpha$ esprime la rigidezza di deriva *(Tyre Cornering Stiffness)*. Entrambe le rigidezze $C_y$ e $C_\alpha$ si misurano in N/1 o N/rad e sono rispettivamente la derivata della forza rispetto allo scorrimento laterale e la derivata della forza rispetto all'angolo di deriva. La norma ISO8855 definisce le due rigidezze come:

$$C_\alpha = -\left(\frac{\partial}{\partial \alpha} F_y\right)\Big|_{\alpha=0} \quad = \quad C_y = -\left(\frac{\partial}{\partial s_y} F_y\right)\Big|_{s_y=0} \tag{7.17}$$

Come si può vedere dall'immagine 7.19 la distribuzione di pressione nel contatto laterale è un triangolo, ossia una distribuzione non simmetrica. La forza laterale si trova ad una distanza t *(pneumatic trail)* dall'origine e questo fa nascere un momento $M_z$, auto allineante, che tende a riportare lo pneumatico ad un angolo di deriva pari a zero. Per piccoli angoli di deriva α, vale la seguente equazione:

$$M_z = -F_y t = -F_y \frac{a}{3} \qquad 7.18$$

dove $t$ è il braccio della forza laterale rispetto all'origine e $a$ metà lunghezza impronta.

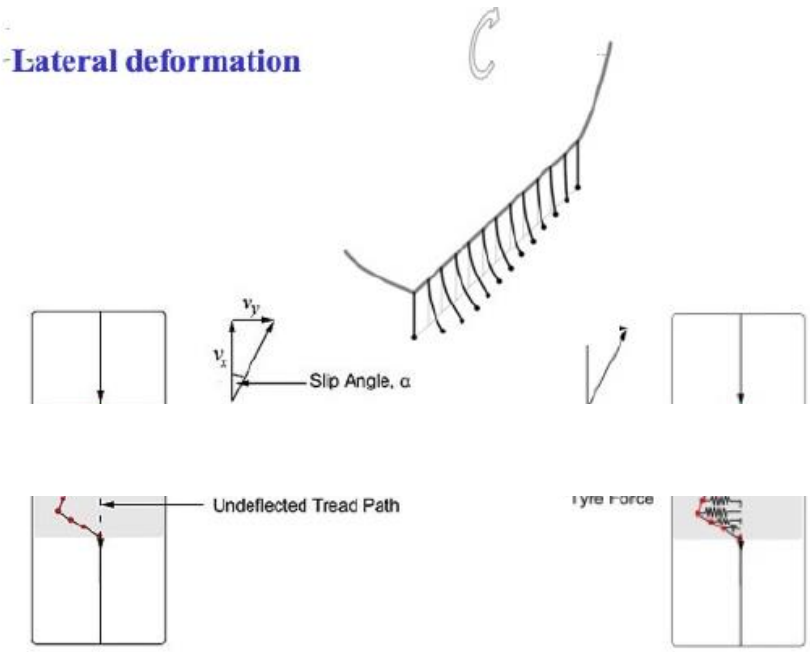



*Figura 7.19 Distribuzione delle pressioni nella deformazione laterale (H. Pacejka, "Tire and Vehicle Dynamics" Butterworth-Heinemann, 2012)*

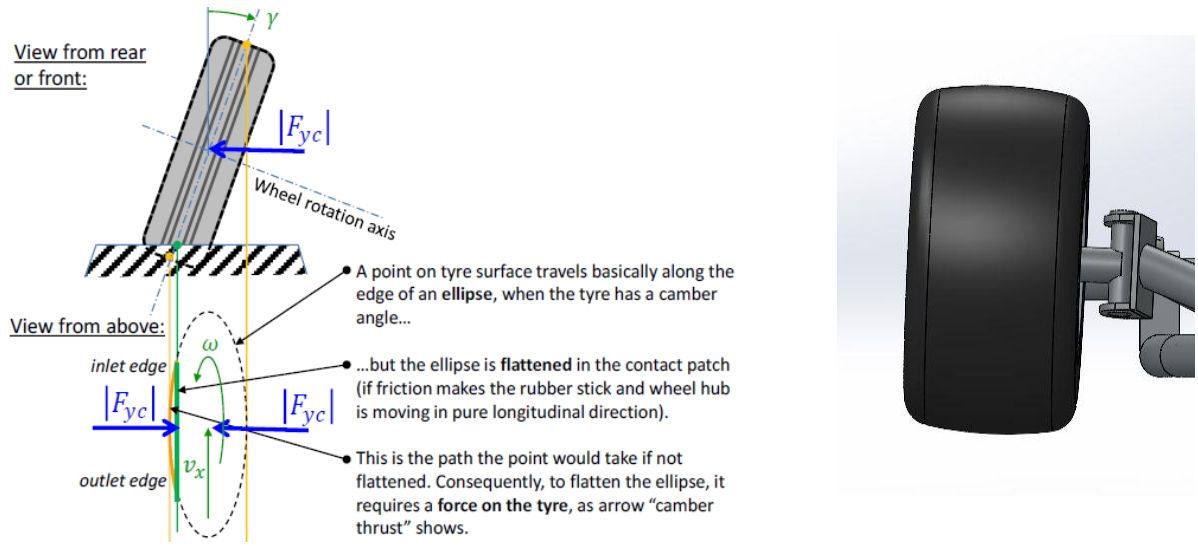



*Figura 7.20 A sinistra: Influenza angolo di camber sulla forza laterale (Vehicle Dynamics, Chalmers University of Technology [20]). A destra: Angolo di Camber visualizzato nel kart*

Nel comportamento laterale un altro effetto da tenere in considerazione è sicuramente la presenza dell'angolo di Camber $\gamma$. La forza di Camber si genera quando un punto sulla superficie esterna dello pneumatico inclinato, la cui proiezione sul terreno normalmente seguirebbe una zona di contatto ellittica, è forzato a seguire una nuova traiettoria rettilinea dovuta all'attrito con il suolo, come mostrato nella figura 7.10 in basso a sinistra. Questa deviazione verso la direzione di inclinazione provoca una deformazione del battistrada dello pneumatico che viene trasmessa al veicolo come forza nella direzione di inclinazione. La forza laterale risultante, inserendo anche la forza di Camber, vale:

$$F_y = F_{y,SideSlip} + F_{y,Camber} = C_y \cdot s_y + C_\gamma \cdot \gamma; \quad \text{or} \quad F_y = C_\alpha \cdot \alpha + C_\gamma \cdot \gamma \qquad 7.19$$

La rigidezza di camber $C_\gamma$ è solitamente il 5-10% della rigidezza di deriva $C_\alpha$.

### *7.1.2.3 Comportamento combinato*

Quasi sempre il moto del veicolo comporta che la ruota sia soggetta contemporaneamente a forze laterali e forze longitudinali. Per questo motivo si può presumere una forza combinata $F_{xy}$. Essendo una combinazione dalla forza laterale $F_x$ e $F_y$ anche lei avrà un limite di scorrimento massimo.

$$F_{xy}^2 = F_x^2 + F_y^2 \leq (\mu \cdot F_z^2) \qquad 7.20$$

Il comportamento combinato del modello a spazzola assume che tutte le rigidezze dello pneumatico siano uguali, $C_y = C_x = C$. Nella realtà esistono differenze tra i valori misurati delle due rigidezze $C_y$e $C_x$ ; in generale la rigidezza longitudinale risulta maggiore del 50% rispetto a quella laterale ed è legato alla flessibilità laterale e torsionale dello pneumatico. L'equazione 7.20 può essere diagrammata come una circonferenza e prende il nome di cerchio di aderenza (*Friction Circle*), rappresentato nella figura 7.21. Tutti i punti all'interno del cerchio sono in condizioni di aderenza, mentre quelli esteri rappresentano una condizione di slittamento. Grazie a questo grafico è possibile capire il comportamento dello pneumatico in diverse condizioni. Se per esempio stiamo utilizzando il veicolo in curva, utilizzando tutta la forza laterale disponibile e quindi siamo sull'asse delle ascisse al limite destro o sinistro, non possiamo chiedere agli pneumatici anche di accelerare o di frenare, poiché violeremmo le condizioni di aderenza. Si nota come la massima accelerazione o frenata si ottenga solamente con le ruote diritte, cioè agli estremi dell'asse delle ordinate. [20]

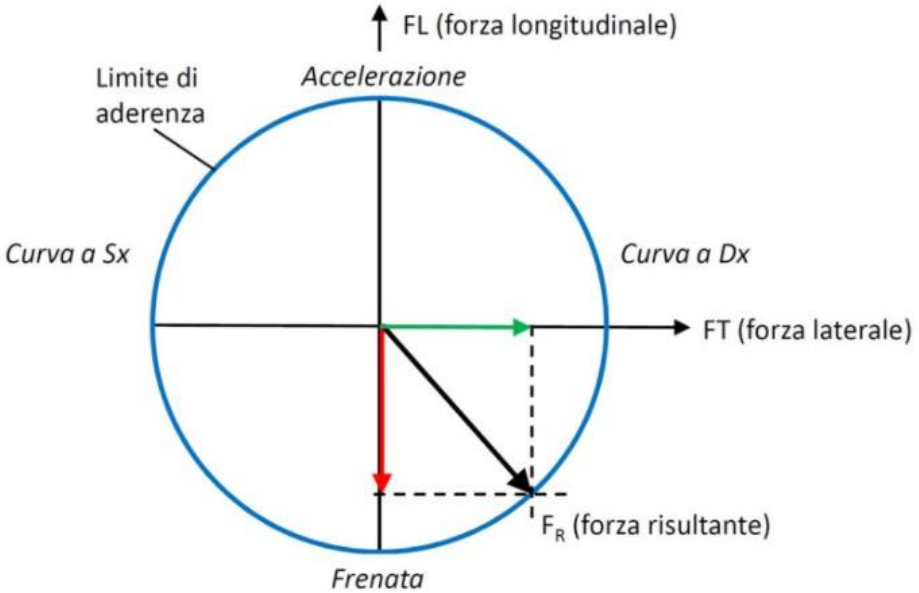



*Figura 7.21 Cerchio di Aderenza (Vehicle Dynamics, Chalmers University of Technology [20])*

### 7.1.3 Modelli Empirici

Per descrivere il comportamento dello pneumatico esistono anche modelli con formule empiriche tramite le quali si riesce ad approssimare il sistema con gli andamenti rilevati sperimentalmente delle forze e dei momenti. Sicuramente la formula più conosciuta è quella che prende il nome di "Magic Formula" ideata dall'ingegnere Hans B. Pacejka. [25]. Questa formula utilizza funzioni trigonometriche per simulare la curva ottenuta dai dati presi sperimentalmente, figura 7.22.

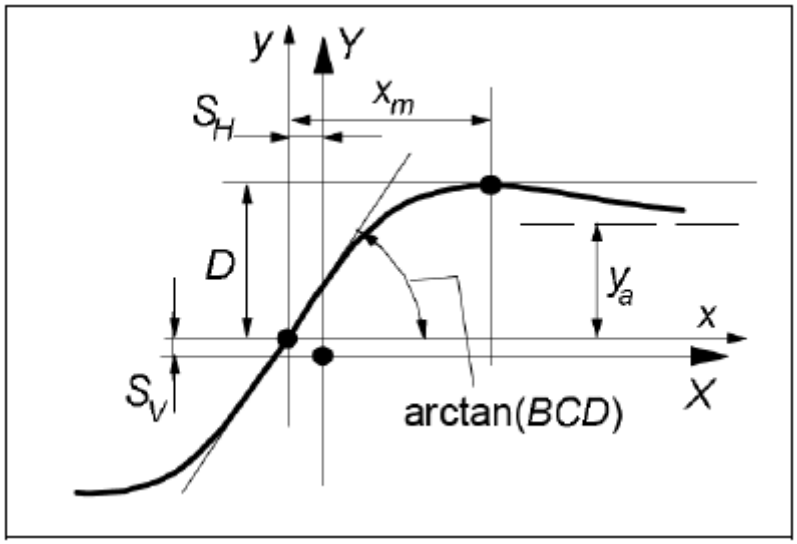



*Figura 7.22 Magic Formula, parametri (Vehicle Dynamics, Chalmers University of Technology [20])*

L' equazione che descrivere la *Magic Formula* è:

$$y(x) = D \cdot \sin\left(C \cdot \arctan(B \cdot x - E \cdot (B \cdot x - \arctan(B \cdot x)))\right) \qquad 7.21$$

Il parametro $x$ può assumere il significato di angolo di deriva $\alpha$ se con $y(x)$ si intende la forza laterale $F_y$, oppure $x$ assume il valore di scorrimento longitudinale $s_x$ se si vuole rappresentare l'andamento della forza longitudinale $F_x$. Il parametro $C$ esprime il fattore di forma, B è il fattore legato alla rigidezza, E il fattore legato alla curvatura e D è il *peak value*. I quattro parametri vengono resi dipendenti dalla forza verticale $F_z$ e dall'angolo di camber.

## *7.2 Distribuzione forze e momenti nel kart*

I paragrafi precedenti ci hanno permesso di capire come e quali forze nascono dal contatto tra le ruote e il suolo. Molte delle forze descritte precedentemente sono però definite nel sistema di riferimento delle ruote e risulta quindi necessario trasferirle nel sistema di riferimento del veicolo.

Per comprendere al meglio tutte le forze e i momenti agenti sul kart conviene dividere il kart in due piani: un piano longitudinale piano *(xz)* mostrato in figura 7.23 e un piano parallelo al suolo *(xy)* presente nella figura 7.25.

### 7.2.1 Comportamento longitudinale

Il primo problema da analizzare è quello della ripartizione del carico tra le quattro ruote, due anteriori e due posteriori. Per farlo ci poniamo nel piano longitudinale, ossia il piano *xz* e consideriamo condizioni di marcia rettilinea con velocità uniforme. In questo modo conoscendo la distanza tra asse anteriore e baricentro, ***a***, e conoscendo la distanza tra baricentro e asse posteriore ***p***, possiamo scrivere le seguenti equazioni di equilibrio:

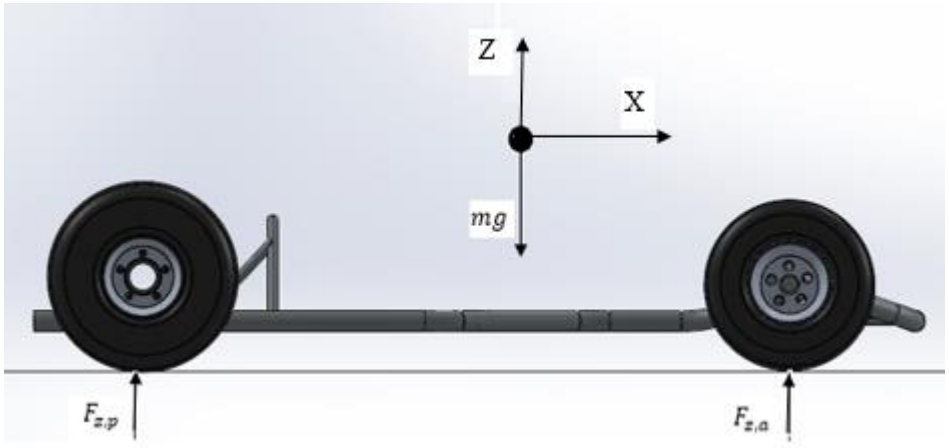



*Figura 7.23 Reazioni vincolari nel piano XZ*

$$F_{z,p} = F_{z,p,dx} + F_{z,p,sx} \qquad 7.22$$

$$F_{z,p} + F_{z,a} = mg \tag{7.23}$$

$$mg \cdot p = F_{z,a} \cdot (a + p) \tag{7.24}$$

$F_{z,p}$ è la reazione vincolare sulle ruote posteriori, mentre $F_{z,a,}$è quella sulle ruote anteriori. Quello che ci interessa sono le forze agenti direttamente sul telaio, sia sull'assale posteriore che nei due fuselli anteriori. Ipotizzando una componente longitudinale dell'accelerazione $a_x$, possiamo scrivere l'equilibrio longitudinale come:

$$ma_x = F_{x,p} + F_{x,a} \tag{7.25}$$

$F_{x,p}$ è la somma delle forze longitudinali posteriore della ruota destra e di quella sinistra; il discorso è analogo per la forza longitudinale anteriore $F_{x,a}$. Nelle $F_x$ vengono inglobate le forze di trazione e le forze di resistenza al rotolamento anche se spesso, quest'ultime, vengono trascurate a causa della loro ridotta entità. Molte volte in alcuni modelli semplificati, nel caso di veicoli a trazione posteriore, la componente longitudinale della forza nelle ruote anteriori si annulla poiché non vi è nessuna forza di trazione e si trascura la forza di resistenza al rotolamento.

Le forze agenti sulle ruote posteriori possono essere riportate sul piano dell'assale senza particolari accorgimenti. Invece, non è così per le forze nei fuselli anteriori. È bene ricordare che i perni dei fuselli possono avere orientazioni differenti dovuti alla presenza dell'angolo di Caster:

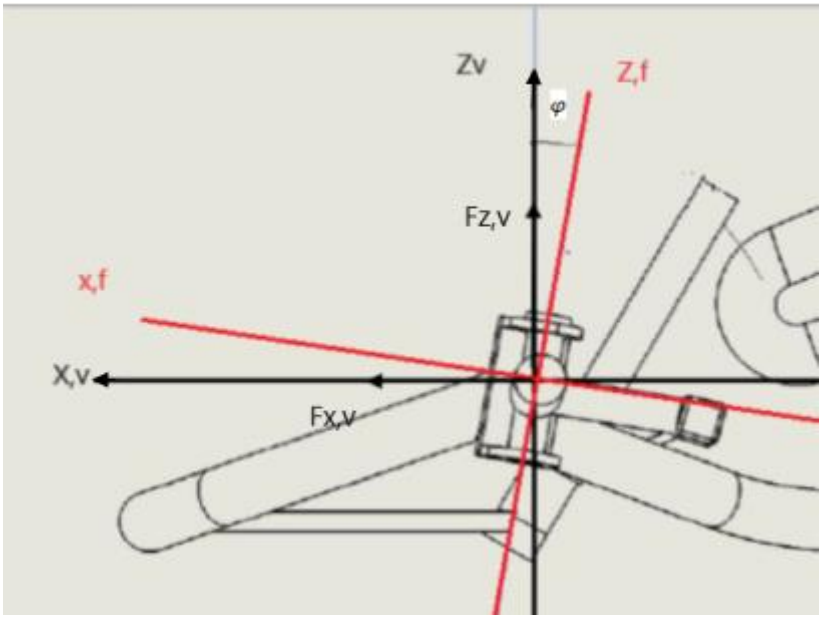



*Figura 7.24 Forze agenti nei fuselli*

$$\begin{bmatrix} F_{z,f} \\ F_{x,f} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos(\varphi) & -sen(\varphi) \\ sen(\varphi) & \cos(\varphi) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} F_{z,v} \\ F_{x,v} \end{bmatrix} \quad 7.26$$

La regolazione dell'angolo di Caster può essere differente dalla ruota anteriore destra rispetto alla ruota anteriore sinistra, l'equazione rimane la stessa avendo cura di inserire con esattezza le forze verticali e longitudinali della sola ruota destra o della sola ruota sinistra.

### 7.2.2 Comportamento laterale

Il comportamento laterale del veicolo viene descritto da diversi fattori come: il manto stradale, la tipologia di pneumatici utilizzati, le inerzie presenti e anche dall'angolo di Ackermann. L'angolo di Ackermann consente alle due ruote anteriori di avere angoli di sterzo differenti creando così un solo centro di rotazione e permettendo alle ruote anteriori esterne di sterzare meno rispetto a quelle interne, figura 7.25. Per avere una sterzatura cinematica corretta, gli assi passanti per il mozzo delle due ruote anteriori devono congiungersi nel centro di istantanea rotazione, che è posizionato sul prolungamento dell'asse posteriore.

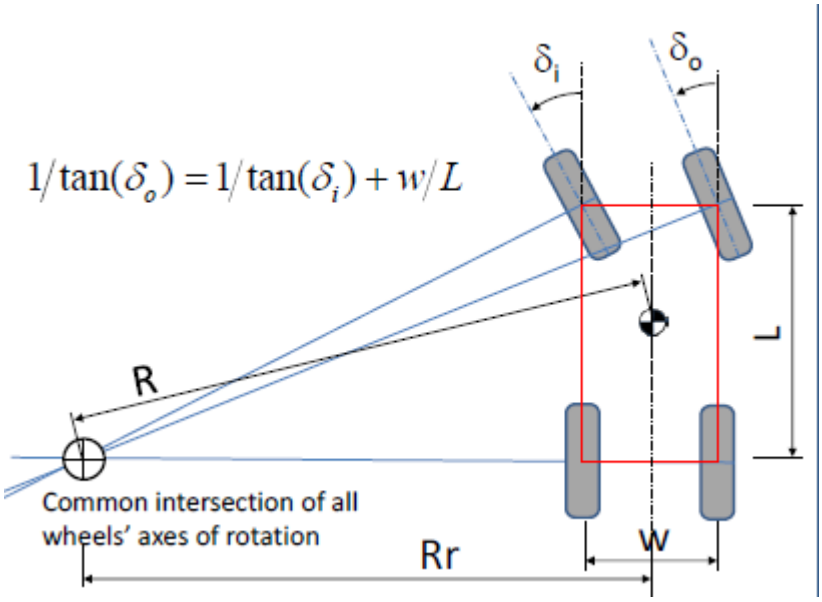



*Figura 7.25 Cinematismo costituente l'Angolo di Ackermann (Vehicle Dynamics, Chalmers University of Technology [20])*

Per le due ruote anteriori si possono scrivere le seguenti equazioni:

$$\tan(\delta_o) = \frac{L}{Rr + \frac{W}{2}} \tag{7.27}$$

$$\tan(\delta_1) = \frac{L}{Rr - \frac{W}{2}} \tag{7.28}$$

Dove $\delta_o$ è l'angolo di sterzata della ruota anteriore destra, $\delta_1$ è l'angolo di sterzata della ruota anteriore sinistra, W è la carreggiata ipotizzata costante, L è il passo del veicolo e Rr è la distanza tra asse posteriore del veicolo e il centro teorico di rotazione. È possibile riscrivere la l'equazione 7.28 come:

$$\frac{1}{\tan(\delta_o)} = \frac{Rr - \frac{W}{2}}{L} + \frac{2 \cdot \frac{w}{2}}{L} \tag{7.29}$$

da cui si ottiene

$$\frac{1}{\tan(\delta_o)} = \frac{1}{\tan(\delta_i)} + \frac{W}{L} \tag{7.30}$$

L'equazione 7.30 prende il nome di condizione di sterzatura cinematica o di Ackermann. Rispettando questa condizione le due ruote anteriori possono avere angoli di sterzo differenti e il veicolo avanza in curva senza avere slittamenti nel caso puramente cinematico.

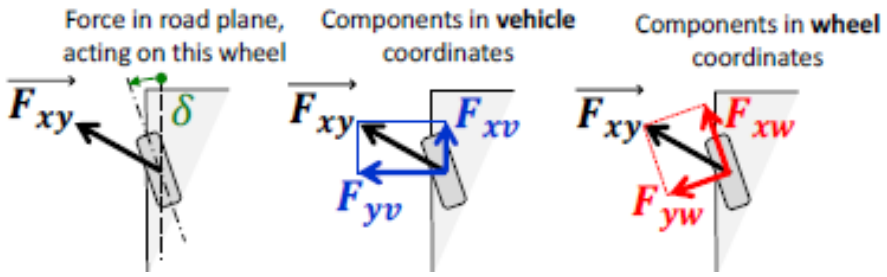



*Figura 7.26 Forze agenti sulle ruote nei diversi sistemi di riferimento (Vehicle Dynamics, Chalmers University of Technology [20])*

La figura 7.26 mostra le forze agenti sulle ruote anteriori; se si analizzano nel dettaglio le due ruote si ottiene:

- Ruota anteriore destra:

$$\begin{bmatrix} F_{x,v} \\ F_{y,v} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos(\delta_a^D) & -sen(\delta_a^D) \\ sen(\delta_a^D) & \cos(\delta_a^D) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} F_{xw,a}^D \\ F_{yw,a}^D \end{bmatrix} \quad 7.31$$

Ricordando che:

$\delta_a^D$ è l'angolo di sterzata della ruota anteriore destra

$F_{xw,a}^D$ è la forza longitudinale sulla ruota anteriore destra (si ipotizza uguale a zero se la ruota non è motrice)

$F_{yw,a}^D$ è la forza laterale agente sulla ruota anteriore destra e dipende, oltre che dallo scorrimento laterale, anche dall'angolo di camber $(\gamma)$ presente sulla ruota anteriore destra e vale:

$$F_{yw,a}^D = C_a^D \cdot \alpha_a^D + C_\gamma{}^D \cdot \gamma_a^D \quad 7.32$$

- Ruota anteriore sinistra:

analogamente le equazioni sono le stesse, variano gli angoli di sterzata e talvolta l'angolo di Camber, si ottiene quindi:

$$\begin{bmatrix} F_{x,v} \\ F_{y,v} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos(\delta_a^S) & -sen(\delta_a^S) \\ sen(\delta_a^S) & \cos(\delta_a^S) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} F_{xw,a}^S \\ F_{yw,a}^S \end{bmatrix} \quad 7.33$$

$$F_{yw,a}^S = C_a^S \cdot \alpha_a^S + C_\gamma{}^S \cdot \gamma_a^S \quad 7.34$$

### 7.2.3 Modello Finale

Grazie alle ipotesi usate precedentemente, si procede a formulare matematicamente un modello del kart. Uno schema semplificativo è raffigurato nella figura 7.27

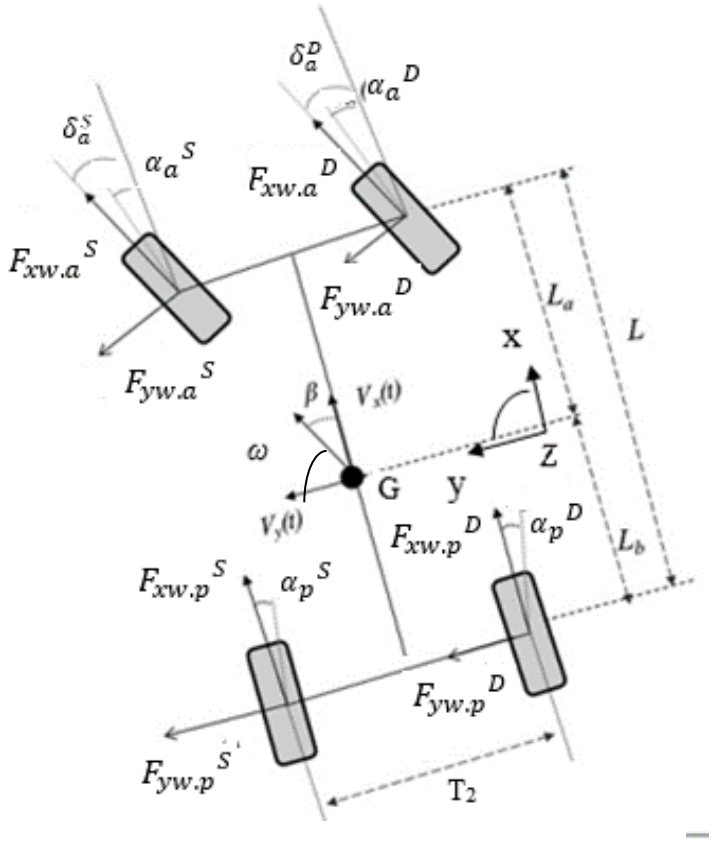



*Figura 7.27. Modello di kart con velocità di avanzamento, velocità laterale e velocità d'imbardata ω*

Si definisce un sistema di riferimento (*x,y,z*), solidale al kart, con origine nel baricentro G. Si suppone il kart in moto piano dove $V_G$ è la velocità assoluta del baricentro e $\omega$ la velocità d'imbardata, positiva in senso antiorario. Il baricentro si trova ad una distanza $L_b$ dall'asse posteriore e una distanza $L_a$ dall'asse anteriore e $L$ è il passo totale del kart. Con $T_1$ si indica la carreggiata anteriore mentre $T_2$ quella posteriore. L'angolo $\beta$ = arctan ($V_y/V_x$) è l'angolo di assetto del veicolo. Si suppone che il kart si muova su strada piana e orizzontale e che non vi siano brusche frenate ed accelerazioni, cioè una velocità di avanzamento $V_x$ costante. Grazie a queste ipotesi, e all'assenza di sospensioni, è possibile trascurare i moti di beccheggio del veicolo, che è supposto perfettamente rigido.

La velocità assoluta del baricentro $V_G$ può essere scomposta lungo la direzione longitudinale $V_x$ e lungo quella laterale $V_y$, per semplicità si sono scelte nulla le velocità angolari di beccheggio e di rollio.

Nelle variabili il primo pedice indica la direzione della forza della ruota: *xw,* direzione longitudinale e *yw* direzione laterale; il secondo pedice indica l'asse, *a* anteriore e *p* posteriore e infine l'apice indica il lato: S sinistra e D destra.

Utilizzando le equazioni presenti nel libro "VEHICLE DYNAMICS" di B. Jacobson [20] si possono scrivere quelle che nei testi della bibliografia vengono chiamate le equazioni di congruenza:

ruote anteriori:
$$\begin{cases} \tan(\delta_a^S - \alpha_a^S) = \frac{V_y + \omega \cdot L_a}{V_x - \omega \cdot \frac{T1}{2}} \\ \tan(\delta_a^D - \alpha_a^D) = \frac{V_y + \omega \cdot L_a}{V_x + \omega \cdot \frac{T1}{2}} \end{cases} \quad 7.35$$

ruote posteriori:
$$\begin{cases} \tan(-\alpha_p^D) = \frac{V_y - \omega \cdot L_b}{V_x - \omega \cdot \frac{T2}{2}} \\ \tan(-\alpha_p^S) = \frac{V_y - \omega \cdot L_b}{V_x + \omega \cdot \frac{T2}{2}} \end{cases} \quad 7.36$$

Per semplificare il modello si può considerare che la velocità di avanzamento $V_x$ sia maggiore rispetto alla velocità laterale $V_y$ e alle velocità dovute alla presenza di $\omega$. Per questo motivo ($V_x \gg V_y + r \cdot L_a$) nelle equazioni si può semplificare l'arco con la tangente. Si ottengono così le equazioni di congruenza finali:

ruote anteriori:
$$\begin{cases} \delta_a^S - \alpha_a^S = \frac{V_y + \omega \cdot L_a}{V_x - \omega \cdot \frac{T1}{2}} \\ \delta_a^D - \alpha_a^D = \frac{V_y + \omega \cdot L_a}{V_x + \omega \cdot \frac{T1}{2}} \end{cases} \quad 7.37$$

ruote posteriori
$$\begin{cases} -\alpha_p^D = \frac{V_y - \omega \cdot L_b}{V_x - \omega \cdot \frac{T2}{2}} \\ -\alpha_p^S = \frac{V_y - \omega \cdot L_b}{V_x + \omega \cdot \frac{T2}{2}} \end{cases} \quad 7.38$$

Le tre equazioni di equilibrio del kart di massa *m* e di momento di inerzia *J=Jz*, rispetto all'asse verticale *z* passante per *G*, si possono scrivere come:

$$ma_x = \left(F_{xw,p}{}^{D} + F_{xw,p}{}^{S}\right) + \left(F_{xw,a}{}^{D} + F_{xw,a}{}^{S}\right) - \left(F_{yw,a}{}^{S} \cdot \delta_a^S + F_{yw,a}{}^{D} \cdot \delta_a^D\right) \quad 7.39$$

$$ma_y = \left(F_{yw,p}{}^{D} + F_{yw,p}{}^{S}\right) + \left(F_{yw,a}{}^{D} + F_{yw,a}{}^{S}\right) + \left(F_{xw,a}{}^{S} \cdot \delta_a^S + F_{xw,a}{}^{D} \cdot \delta_a^D\right) \quad 7.40$$

$$J_z\dot{\omega} = \left[\left(F_{xw,a}{}^{S} \cdot \delta_a^S + F_{xw,a}{}^{D} \cdot \delta_a^D\right) + \left(F_{yw,a}{}^{D} + F_{yw,a}{}^{S}\right)\right] \cdot L_a - \left(F_{yw,p}{}^{D} + F_{yw,p}{}^{S}\right) \cdot L_b -$$
$$\left(F_{xw,a}{}^{D} + F_{xw,a}{}^{S}\right) \cdot \frac{T_1}{2} - \left(F_{xw,p}{}^{D} - F_{xw,p}{}^{S}\right) \cdot \frac{T_2}{2} + \left(F_{yw,a}{}^{S} \cdot \delta_a^S - F_{yw,a}{}^{D} \cdot \delta_a^D\right) \frac{T_1}{2} \quad 7.41$$

Nelle equazioni non compaiono i momenti di auto allineamento $M_z$ poiché, per semplicità, si sono considerati trascurabili; lo spostamento di pochi millimetri della retta di applicazione delle forze laterali avrebbe poca influenza sul comportamento globale del veicolo.

Infine, l'ultima equazione da tenere in considerazione è l'equilibrio lungo l'asse *x,* con momento d'inerzia $J_x$ e velocità di rollio $\theta$, definita positiva dalla ISO8855 se ruota dal lato sinistro verso il lato destro. Per semplificare il modello si considera il centro di rollio con le stesse coordinate del baricentro; nella realtà il centro di rollio varia la sua posizione durante le curve a causa delle forze centrifughe. Essendo il kart privo di sospensioni il moto di rollio è molto limitato.

$$J_x\,\dot{\theta} = \left(F_{yw,a}{}^{D} + F_{yw,a}{}^{S} + F_{yw,p}{}^{D} + F_{yw,p}{}^{S}\right) \cdot h + \left(F_{zw,p}{}^{S} - F_{zw,p}{}^{D}\right) \cdot \frac{T2}{2} +$$
$$\left(F_{zw,a}{}^{S} - F_{zw,a}{}^{D}\right) \cdot \frac{T1}{2} \quad 7.42$$

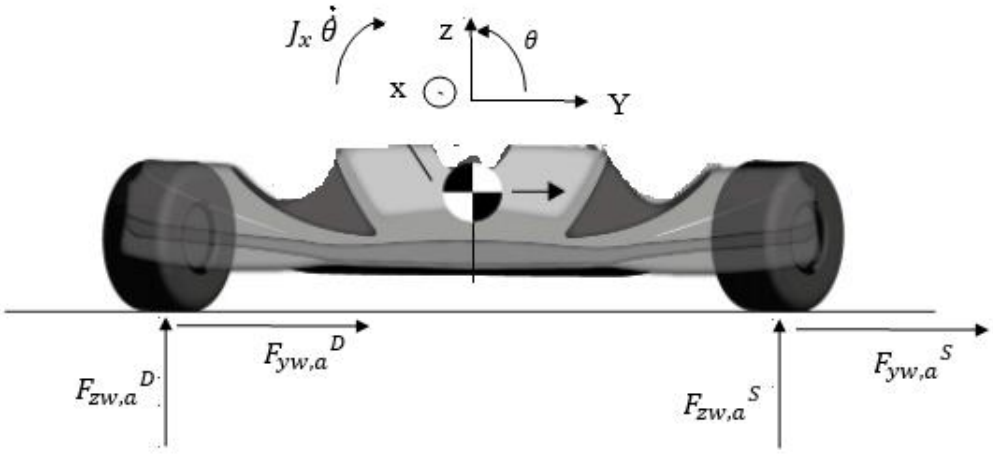



*Figura 7.28. Vista dall'anteriore del kart. Coordinate coerenti con il sistema di riferimento ISO 8855*

# 8 CONCLUSIONI

Nel presente lavoro di tesi sono stati creati dei modelli agli elementi finiti con l'obbiettivo di capire quali elementi intervengano maggiormente nel reale comportamento statico e dinamico del telaio di un kart da competizione. La prima operazione prevede la digitalizzazione del telaio. Partendo dalla fiche di omologazione a disposizione è stato ricreato il modello in ambiente cad (in parte utilizzando modelli ottenuti da tesi precedenti); questo ci ha permesso di definire il modello su cui effettuare le simulazioni agli elementi finiti. Come prima analisi si è scelto di studiare il comportamento torsionale del telaio nudo. È da ricordare come, essendo il kart un veicolo privo di differenziale e di sospensioni, sia il telaio stesso a ricoprire queste funzioni; infatti, grazie all'elasticità e alla cinematica di quest'ultimo, è possibile sollevare la ruota posteriore interna durante le curve, evitando così slittamenti eccessivi delle ruote interne nelle curve. Per questo motivo la rigidezza torsionale diventa un parametro fondamentale nella progettazione di un telaio.

Dalle prove condotte si è visto come la presenza dell'assale posteriore aumenti la rigidezza a torsione dell'intero telaio. Nello specifico, l'aumento del diametro dell'assale, a parità di materiale scelto, causa un aumento della rigidezza maggiore rispetto alla scelta del materiale, a parità di diametro dell'albero. Questo risultato mostra come l'assale posteriore abbia un ruolo centrale nella rigidezza complessiva del sistema. Inoltre, sono stati esaminati diversi elementi presenti all'interno dell'ambiente di simulazione per ottenere risultati più verosimili. La prima considerazione è stata sulla scelta della tipologia di contatti da utilizzare nel collegamento albero cuscinetti. I risultati mostrano come utilizzando dei contatti rigidi "Bonded", ossia superfici incollate, la rigidezza torsionale aumenti rispetto all'utilizzo di contatti "No Separation", dove è permesso uno scorrimento tangenziale fra i componenti. Nella realtà i cuscinetti e l'albero non sono incollati, pertanto i risultati ottenuti utilizzando i contatti "No Separation" assumono valori che sono probabilmente più vicini ai valori reali rispetto ai modelli con contatti "Bonded".

Sono state eseguite anche delle prove di torsione anteriore e di torsione posteriore; nella rigidezza torsionale anteriore, si ottiene un valore di circa $1{,}85 \cdot 10^5\ Nmm/rad$, mentre la rigidezza torsionale posteriore è di circa $5{,}08 \cdot 10^5\ Nmm/rad$. I risultati confermano quanto detto prima, ovvero l'importanza della presenza dell'assale nella struttura come elemento di irrigidimento.

Nell' analisi dinamica, sono stati confrontati il telaio nudo, il telaio con assale di differenti diametri e i modelli di telaio con tipologia di cuscinetti differenti. In tutti e tre i casi si è visto come i primi quattro modi propri siano rispettivamente: un modo torsionale, un modo flessionale e due modi con deformazione in direzione laterale. All'aumentare del diametro dell'assale i valori delle frequenze proprie aumentano poiché l'assale conferisce maggior rigidezza al sistema, e essendo la tipologia di contatti "Bonded", rigida, i valori delle frequenze sono maggior rispetto ai modelli in cui vengono utilizzati i contatti "No Separation". Come ultima prova dinamica si è simulato il comportamento del telaio inserendo le masse e le inerzie del pilota e del motore. In questo caso le frequenze ottenute sono molto più basse rispetto ai modelli precedenti e si evidenzia come il primo modo rigido sia un flessionale, il secondo uno torsionale e il terzo e quarto siano anch'essi delle deformazioni laterali indicando come, sulla pista si potrebbe avere una rigidezza flessionale del telaio minore rispetto a quella torsionale.

Nell'ultimo capitolo si sono esaminate le forze agenti sul sistema. Sicuramente le forze a cui bisogna prestare massima attenzione sono quelle riferite al contatto ruota suolo, fondamentali per determinare le performance del veicolo. Le forze che nascono dal contatto ruota suolo dipendono da molteplici fattori: il manto stradale, la tipologia di pneumatici utilizzati, l'impronta di contatto ecc. Nello specifico, per determinare le forze generate tra pneumatico e suolo ricoprono un ruolo molto importante gli angoli di deriva, di camber e di Caster. Questi angoli devono essere attentamente analizzati, poiché influiscono sulle forze laterale e sulle forze longitudinali che si generano nella zona di contatto. In generale, nell'impronta di contatto sono presenti due zone: una di aderenza e una di slittamento. Nella prima zona di aderenza, le forze sono in funzione dello scorrimento relativo delle ruote e delle caratteristiche degli pneumatici. Si ha aderenza sino a quando le forze presenti non superano il limite imposto dall'attrito, dopodiché si ha la zona di slittamento. Nel comportamento reale, le forze laterali e quelle longitudinali non sono disaccoppiate, ma sono presenti entrambe contemporaneamente; per studiare il comportamento combinato si utilizzano strumenti come il Cerchio di Aderenza, che descrive il comportamento dello pneumatico nelle diverse fasi del moto: accelerazione, frenata e sterzata.

Infine, un ultimo parametro importante nello studio della dinamica del kart è l'angolo di Ackermann. Utilizzando questa configurazione, le due ruote anteriori possono avere angoli di sterzo differenti permettendo così al veicolo di avanzare in curva senza avere slittamenti eccessivi.

In conclusione, grazie ai modelli esaminati, è stato possibile comprendere come i kart siano sistemi complessi influenzati da moltissimi parametri e come non esista un'unica configurazione migliore rispetto alle altre per tutti i circuiti.

Le prospettive per il futuro del karting riguardano l'aumento delle prestazioni e delle efficienze dei kart, magari utilizzando materiali e accessori innovativi. È anche verosimile che, nei prossimi anni, la motorizzazione elettrica prenderà il sopravvento passando da motori a combustione interna che emettono particelle di idrocarburi indesiderati (in particolare i 2T), a motori elettrici, eventualmente alimentati ad energia solare e con sistemi di recupero di energia. Per quanto riguarda i telai dei kart, nel futuro si continuerà ad analizzarne la resistenza strutturale contro i carichi dinamici e quelli statici, andando a modificarne la geometria. Molte delle ricerche prevedono l'inserimento di elementi di irrigidimento cercando sempre un compromesso tra buona resistenza strutturale e basso peso complessivo.

# 9 BIBLIOGRAFIA E SITOGRAFIA


[1] "Go-kart Evoluzione tecnica e sportiva del Karting dagli esordi agli anni Settanta" Associazione Italiana per la Storia dell'Automobile AISA, Bologna, Museo del Patrimonio Industriale, 30 novembre 2019

[2] Sito web Tkart: https://tkart.it/magazine/focus-tecnico/capire-telaio-kart/

[3] Marco Natoli, "Il manuale del kart", Archimede editore, 2015

[4] Sito web - https://italy.iameengines.com/fia-karting/#cikfia60cc

[5] Sito web https://it.frwiki.wiki/wiki/Karting

[6] Catalogo telaio omologati CIK-FIA: https://www.fiakarting.com/page/homologated- equipment

[7] M.E. Biancolini, C.Brutti, S.Dari, M.Mosconi, F.Renzi " Progettazione avanzata di un telaio di un go kart", AIAS 2007, Napoli

[8] Sito web- https://www.kartstore.it/index.php?lang=it-it

[9] Catalogo cuscinetti SKF- https://www.bianchi-industrial.it/download/skf-catalogo-generale-cuscinetti/?wpdmdl=414823&refresh=621363d1a78ed1645437905

[10] Arshad Khan, Meet Patel, Omkar Bhosale, Sanket Pawar, Amit Patil "A Reviewon Design and Assembly of Go- Kart Steering System", International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET), 2021

[11] Sito web - https://www.vegatyres.com/

[12] A.Gugliotta, "Elementi Finiti. Parte IV", Politecnico di Torino, Dipartimento di Meccanica, Maggio 2002

[13] Parti Solidworks https://grabcad.com/library

[14] Manuale Ansys Contatti - https://www.mechead.com/contact-types-and-behaviours-in-ansys/#:~:text=1.,of%20the%20region%20as%20glued

[15] N.A.Z. Abdullah, M.S.M. Sani, N.A. Husain, M.M. Rahman and I. Zaman "Dynamics properties of a Go-kart chassis structure and its prediction improvement using model

updating approach", International Journal of Automotive and Mechanical Engineering,2017

[16] Jimim He, Zhi-Fang Fu, " Modal Analysis", Butterworth-Heinemann, Oxford 2001

[17] R.Baudille, M. E. Biancolini, C.Brutti, L.Reccia, "Analisi integrata mutil-body FEM del comportamento dinamico di un kart", Università di Roma "Tor Vergata"

[18] Normativa ISO8855, 2011 https://www.sis.se/api/document/preview/914200/

[19] https://ansyshelp.ansys.com/account/secured?returnurl=/Views/Secured/corp/v211/en/wb_ ,Manuale Ansys Point Mass

[20] Bengt Jacobson, " Vehicle Dynamics", Department of Applied Mechanics, Chalmers University of Technology, 2016

[21] Michelin, "The tyre grip", Société de Technologie Michelin, 2001

[22] -W. Milliken, D. Milliken "*Race Car Vehicle Dynamics",* Society of Automotive Engineers , 1995

[23] T. Machado et al., "Design and development of a go kart," 2015 International Conference on Technologies for Sustainable Development (ICTSD), 2015, pp. 1-5, doi: 10.1109/ICTSD.2015.7095881

[24] A.Vigliani, appunti del corso "Vehicles dynamics simulation", Automotive Engineering, Politecnico di Torino, 2022

[25] H. Pacejka, "Tire and Vehicle Dynamics" Butterworth-Heinemann, 3°edizione, 2012

# *10 Allegati*

*10.1 Allegato 1: Fiche d'Homologation Telaio Black Mirror (pagina 91)*

*10.2 Allegato 2: Regolamento Tecnico Karting 2022 (pagina 94)*

Homologation N°

**002-CH-18**

# FICHE D´HOMOLOGATION / *HOMOLOGATION FORM*

## COMMISSION INTERNATIONALE DE KARTING - FIA

## CADRE DU CHÂSSIS / *CHASSIS FRAME*

| | |
|---|---|
| Constructeur / *Manufacturer* | **C.R.G S.p.A** |
| Marque / *Make* | TGROUP |
| Modèle / *Model* | BLACK MIRROR |
| Catégorie / *Categorie* | MINI |
| Durée de l´homologation / *Validity of the Homologation* | 3 ans / *3 years* |
| Nombre de pages / *Number of pages* | 3 |
| La présente Fiche d'Homologation reproduit descriptions, illustrations et dimensions du cadre du châssis au moment de l'homologation CIK-FIA. | *This Homologation Form reproduces descriptions, illustrations and dimensions of the chassis at the moment of the CIK-FIA homologation.* |

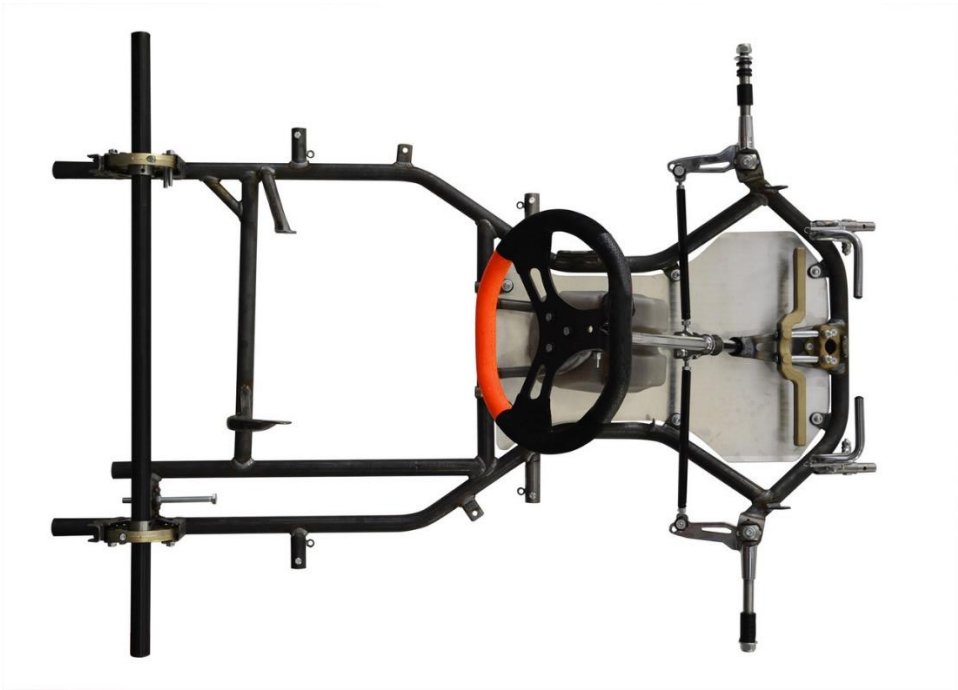


Photo du de dessus du châssis complet identique à l´un des modèles présentés à l´homologation sans pare-chocs, freins, carrosserie, siege ni pneumatics /
*Photo from above of complete chassis identical to one of the models submitted for homologation without bumpers, brakes, bodywork, seat or tyres.*

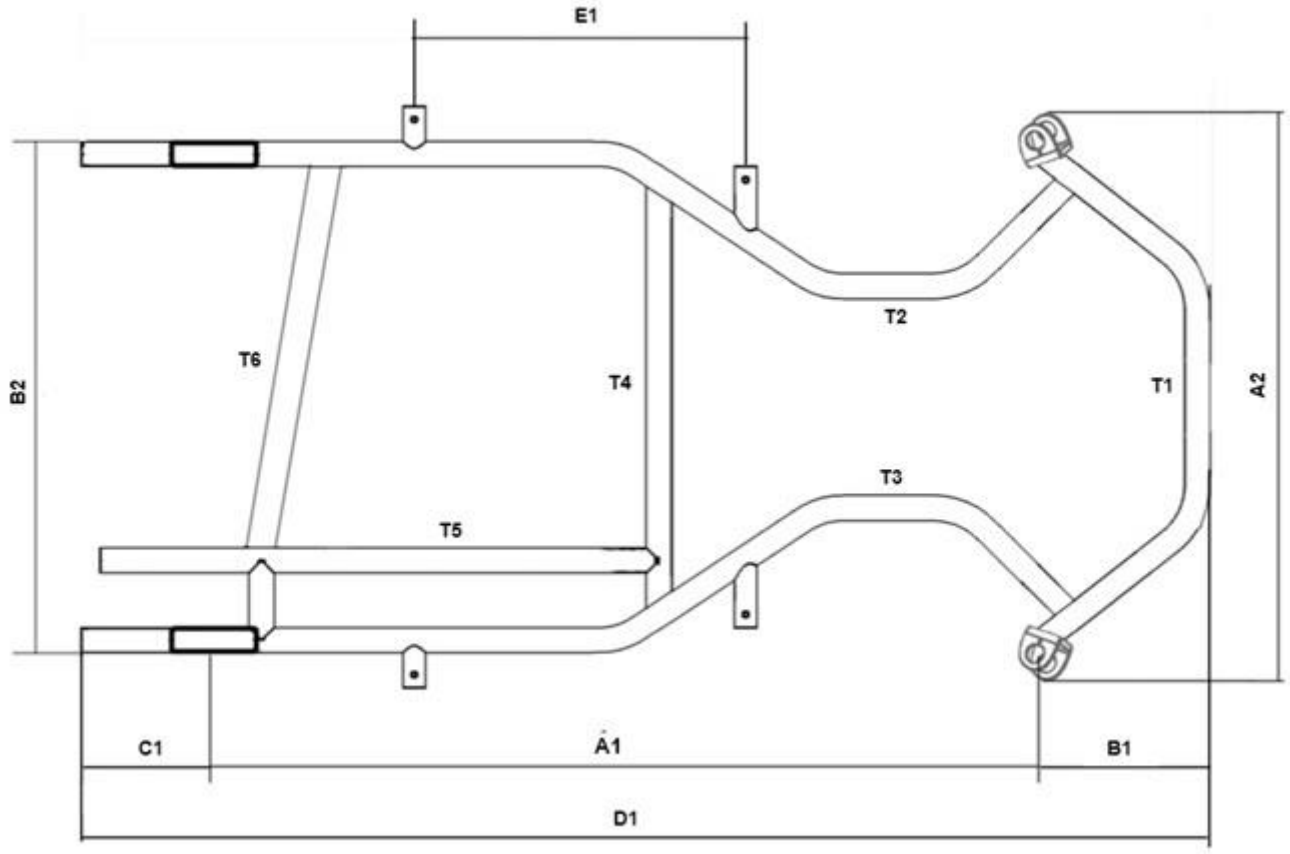
| **Signature et tampon de l´ASN / *Signature and stamp of the ASN*** | **Signature et tampon de la CIK-FIA / *Signature and stamp of the CIK-FIA*** |
|---|---|
| | |

Copyright © 2019 by CIK-FIA. All rights reserved

| A | Dessin technique du cadre / *Technical drawing of frame* |
|---|---|

Le dessin technique (Échelle 1:10) sert pour identifier la structure et la géométrie du cadre. /
*The technical drawing (Scale 1:10) is used for the identification of the structure and the geometry of the frame*

**Vue de dessus / *View from above***




**Vue de côte / *Side view***

Copyright © 2019 by CIK-FIA. All rights reserved

Homologation N°

**002- CH -18**

| B | **Cotes / *Dimensions*** | |
|---|---|---|
| **Cadre / *Frame*** | **Dimensions / *Dimensions*** | **Tolérances / *Tolerances*** |
| A1 = Empattement / *Wheel base* | **950** | **± 5 mm** |
| B1 = Porte-à-faux avant / *Front overhang* | 190 | ± 5 mm |
| C1 = Porte-à-faux arriére / *Rear overhang* | **145** | **± 15 mm** |
| D1 = Longueur total / *Overall length* | 1290 | ± 15 mm |
| E1 = Fixation pare-chocs latéraux / *Fixation side bumpers* | **380** | **± 5 mm** |
| | | |
| A2 = Largeur avant extérieure / *Outer front width* | 646 | ± 10 mm |
| B2 = Largeur arrière extérieure / *Outer rear width* | 600 | ± 10 mm |
| | | |
| T = Nombre de tubes / *Number of tubes* | **6** | |
| Nombre des courbes dans les tubes / *Number of bends on the tubes* | 8 | |
| Diamètre de tubes / Diameter of tubes | **Ø 28** | |

| C | **Photo du marquage du numero d´homologation / *Photo of the homologation number marking*** |
|---|---|

Le marquage indiqué sur le tube transversal arriére doit rester clairement visible en permanence /
*The marking located on the rear strut must be clearly visible at all times*

| D | **Photo de la commande de freinage / *Photo of brake control cable*** |
|---|---|

La commande de freinage doit être isolée du châssis et montrer la double commande /
*The brake control must be separated from the chassis and show the double linkage*

Copyright © 2019 by CIK-FIA. All rights reserved

Automobile Club d'Italia
SPORT

## ANNUARIO SPORTIVO NAZIONALE 2022

## REGOLAMENTO DI SETTORE KARTING

# Regolamento Tecnico

### Aggiornamenti Regolamentari

| ARTICOLO MODIFICATO | DATA DI APPLICAZIONE | DATA DI PUBBLICAZIONE |
|---|---|---|
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |

# Premessa:

Il presente regolamento si riferisce ai gruppi ed alle classi dell'Attività di base, gare non Titolate e gare Titolate.
I regolamenti tecnici dei vari Campionati Regionali, delle Coppe di Zona, del Trofeo Nazionale e dei Campionati Italiani Karting sono pubblicati all'interno dei regolamenti dei predetti campionati, **i quali fanno riferimento alle NORME GENERALI, qui di seguito descritte.**

# "SEZIONE I"

## Art.1 – GRUPPI E CLASSI - VALIDITA'

### 1.1.Gruppi e Classi internazionali (validità: quella stabilita dalla CIK-FIA)

| GRUPPO | CLASSE |
|---|---|
| 1 | KZ (1) |
| 2 | KZ2 (1) |
| | OK |
| | OKJ |
| 3 | MINI |
| 1 | **SUPERKART (1)** |

**(1) Classe con Cambio di Velocità.**

**I Gruppi e le Classi Internazionali devono essere conformi al RTI FIA Karting**

### 1.2– Gruppi,classi nazionali e massa minima complessiva

| Gruppo | CLASSE | Massa Complessiva |
|---|---|---|
| **ENTRY LEVEL** | Entry Level | **90kg** |
| **ALLIEVI** | MINI Gr.3 FIA Karting | **110kg** |
| | Minikart 2015-2020 | **110kg** |
| | TDM Mini ROK | **110kg** |
| | TDM 60 Easy Kart | **110kg** |
| | TDM Rotax FR Mini | **115kg** |
| | TDM X30 Mini | **110kg** |
| **CADETTI** | OKJ FIA Karting | **140kg** |
| | TDM Junior ROK | **145kg** |
| | TDM Rotax FR 125 Junior | **145kg** |
| | TDM 100 Easy Kart | **140kg** |
| | TDM X30 Junior | **145kg** |
| **JUNIOR** | OK FIA Karting | **145kg** |
| | TDM ROK Senior | **160kg** |
| | TDM Master Easy Kart | **150kg** |
| | TDM 125 Master Easy Kart | **160kg** |
| | TDM Rotax FR Max | **160kg** |
| | TDM X30 Senior | **158kg** |
| **SENIOR** | KZ2 | **175kg** |
| | TDM Shifter ROK | **180kg** |

| | | |
|---|---|---|
| **SHIFTER** | TDM KGP Shifter | **180kg** |
| | KZN Under | **178kg** |
| | KZN Senior | **180kg** |
| | TDM X30 Super Shifter | **180kg** |
| **SUPER TAG** | TDM KGP Direct Drive | **160kg** |
| | TDM Rotax FR DD2 | **165kg** |
| | TDM IAME X30 Super | **165kg** |
| | | |
| | | |

L'ACI si riserva di modificare i pesi minimi riportati in tabella anche in corso d'anno.
Le classi nazionali sono istituite da ACI SPORT e devono essere conformi alle prescrizioni contenute nei successivi capitoli.

### Art.2 - MODIFICHE E/O AGGIORNAMENTI

ACI SPORTsi riserva di apportare al presente regolamento ed a quello delle singole classi, le modifiche e/o aggiornamenti che riterrà necessari.

### Art.3 - VIOLAZIONI DELLE NORME

In caso di violazione delle norme di cui agli articoli seguenti ed in relazione alla loro gravità,
i Commissari Sportivi segnaleranno gli addebiti alla Procura Federale.

# "SEZIONE II"

## Art. 1 – NORME GENERALI

Chiunque operi nell'ambito dell'attività Karting è sotto la vigilanza dell'Autorità Sportiva Nazionale;
Tale vigilanza si attua attraverso il tesseramento sportivo, l'Omologazione Nazionale, Internazionale e la registrazione del materiale (diverso dai motori, dai telai, dai pneumatici e da altro materiale) comunque impiegato nelle competizioni.
Salvo diverse prescrizioni dettate dai regolamenti delle singole classi, sono comuni a tutte le norme di cui agli articoli seguenti.
I motori, i telai ed i pneumatici si intendono di produzione nazionale quando i seguenti particolari sono costruiti e/o lavorati quali prodotti finiti in Italia per tutta la durata dell'omologazione:

- motore: basamento, cilindro, testa, canna, albero motore, cambio e frizione;
- telaio: scocca, cerchi, impianto frenante, assale posteriore;
- pneumatici: lavorazione del prodotto finito

### Art.2 – Omologazione, identificazione e controlli:

**Art. 2.1 – Identificazione:**
L'identificazione di tutto il materiale omologato o registrato, sarà possibile grazie alle parti originali, le cui devono sempre rispettare ed essere simili alle fotografie, disegni e dimensioni descritte sulla fiches di omologazione, tenendo conto delle modifiche autorizzate e limitate dal presente regolamento.
Il riferimento all'orientamento del telaio, carrozzerie, motore, ecc, sarà basato sulla posizione di guida del pilota nella direzione di marcia.

### Art. 2.2 – Controlli:

Per i controlli, le seguenti tolleranze sono consentite;

- **Interasse Biella : ± 0,2 mm (MINI Gr.3 – Minikart – Entry Level ± 0,1mm)**
- **Corsa del pistone: Motore montato ± 0,2 mm - Albero Motore: ± 0,1 mm**
- **Accensione motore: ± 2°** esclusi i motori per OK – OKJ – MINI Gr.3 – Minikart
- **Cambio di velocità omologato:** Valore ottenuto dopo 3 giri del motore: **± 3°**
- **Marmitte:** Per tutti i motori di 125cc con cambio di velocità, **± 1 mm**
  OK vedere disegno tecnico unico per tutti in allegato,
  OKJunior: Vedere disegno tecnico unico per tutti in allegato
  Minikart – Entry Level: Vedere disegno tecnico unico per tutti in allegato.
- Motori OK - OKJ – MINIKART – MINI Gr.3 – KZ2 – KZN
  (Cilindro,pistone, albero motore, pacco lamellare e contro albero)

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **Dimensioni:** | **<25 mm** | **25-60 mm** | **60-100 mm** | **>100 mm** |
| **Tolleranza:** | ± 0,5mm | ± 0,8mm | ±1mm | ±1,5 mm**Altre parti :** |

| | | | |
|---|---|---|---|
| **Dimensioni:** | **<25 mm** | **25 - 60 mm** | **> 60 mm** |
| Pezzi lavorati: **Tolleranza** | ± 0,5mm | ± 0,8mm | ± 1,5mm |
| Pezzi grezzi o saldati: **Tolleranza** | ± 1,0mm | ± 1,5mm | ± 3,0mm |

**Le unità di misura (incluse le unità derivate), saranno quelle del sistema internazionale:**

- Unità di lunghezza in **"METRO"**, unità di massa in "**kg"** l'unità di tempo in "**S"** e l'unità di livello del rumore in "**Decibel"**

**Inoltre il seguente valore sarà utilizzato per :**

- Unità di angolo, **"°" (grado)** anziché il radiante;
- Per l'unità di temperatura, il **celsius "°C "** invece del Kelvin.

Per tutte le classi, il controllo del materiale magnetico dei particolari, dove viene citato **MATERIALE MAGNETICO**, dovrà essere verificato con una calamita rispondente alle caratteristiche descritte nell'**allegato 3.**
La fonte nazionale dei predetti particolari e/o la loro lavorazione deve poter essere dimostrata dal Costruttore interessato ad ACI SPORT in qualsiasi momento.

## Art.3 – OMOLOGAZIONI

I telai, motori, pneumatici, carburatori, carrozzerie, impianto freno, protezione ruote posteriori, silenziatori di aspirazione e scarico, le accensioni, ecc., devono essere omologati o registrati da ACI SPORT e/o dalla FIA Karting, come indicato nei regolamenti delle varie classi.
Il materiale omologato deve essere conforme alla rispettiva scheda di omologazione, che è da considerare parte integrante del presente RTN (Regolamento Tecnico Nazionale)
Per il materiale registrato da ACI SPORT, devono essere depositati in ACI SPORT i disegni quotati.
Non è consentito sostituire le parti componenti il motore con altre non conformi ai disegni e alle foto della scheda di omologazione. Qualsiasi elaborazione deve consentire l'identificazione del pezzo di origine.
**Non è consentita l'asportazione dei marchi originali di fabbrica, se esistenti.**
**L'apporto di materiale a tutti gli elementi oggetto di un'omologazione è vietato.**
**Con esclusione delle Scocche dei telai, le quali possono essere rimesse in ordine per apporto di materiale tramite saldatura.**
Le caratteristiche originali, strutturali di concezione del motore, forme e figure esteriori non possono essere modificate o alterate.

### 3.1 - Richiesta di omologazione NAZIONALE:

Le omologazioni nazionali, le relative estensioni e le registrazioni devono essere richieste presentando le domande nei modi e nei termini comunicati dall'ACI SPORT e versando le tasse,
**come descritto nell'appendice 9 RNS art.3.3.1**
Quando non escluso dai regolamenti delle gare titolate, il materiale omologato può essere impiegato anche nell'anno successivo alla scadenza, purché compatibile con i nuovi regolamenti.
Le registrazioni e le omologazioni Nazionale e Internazionali devono essere richieste presentando le domande nei modi e nei termini comunicati dalla FIA Karting o dall'ACI SPORT, versando le tasse che saranno di volta in volta comunicate.

**Le spese pertinenti le ispezioni di omologazione, sia Nazionali che Internazionali, si intendono a completo carico del richiedente.**

### 3.1.1 - Minimi di produzione

Per le Omologazioni Nazionali sono richiesti minimi di produzione,
come descritto **nell'appendice 9 RNS**, da accertare i minimi di produzione in sede di ispezione:

## Art.4 - DISPOSIZIONI COMUNI A TUTTE LE CLASSI

### 4.1 – Telai:

**a)** Salvo diverse disposizioni contenute nei regolamenti tecnici di classe, sono ammessi i telai con omologazione FIA Karting e ACI SPORT.
**b)** I tubi della Scocca del Telaio devono essere in materiale **magnetico**, conformi alle disposizioni FIA Karting e ACI SPORT nello specifico;

- Diametro, deve essere quello dichiarato sulla scheda di omologazione.
- Vietato l'uso di leghe leggere e di materiali compositi per la costruzione della scocca.

**c)** Misura massima della **carreggiata anteriore e posteriore** *'fuori tutto'* in ogni condizione gara

- Entry Level, Minikart, MINI Gr.3: 1100mm Minimo
- Tutte le altri classi: 1400mm Minimo

### 4.2 - Assale posteriore

Deve essere monopezzo (pieno o forato) in materiale **magnetico**. L'utilizzo di materiali compositi, esotici e nobili è vietato. Sono esclusi qualsiasi tipo di giunto o snodo e qualsiasi aggiunta di materiale o modifica che alteri il concetto di monopezzo dell'assale. L'assale deve avere un diametro esterno massimo di 50mm
**Il diametro e lo spessore in tutti i punti (con eccezione dell'alloggiamento delle chiavette) in rapporto al diametro esterno deve rispettare la seguente tabella di equivalenza qui di seguito descritta:**

| Diametro Est. Max (mm) | Spessore Minimo (mm) | Diametro Est. Max (mm) | Spessore Minimo (mm) |
|---|---|---|---|
| 50 | **1,9** | 37 | **3,4** |
| 49 | **2,0** | 36 | **3,6** |
| 48 | **2,0** | 35 | **3,8** |

| | | | |
|---|---|---|---|
| 47 | **2,1** | 34 | **4,0** |
| 46 | **2,2** | 33 | **4,2** |
| 45 | **2,3** | 32 | **4,4** |
| 44 | **2,4** | 31 | **4,7** |
| 43 | **2,5** | 30 | **4,9** |
| 42 | **2,6** | 29 | **5,2** |
| 41 | **2,8** | 28 | **Pieno** |
| 40 | **2,9** | 27 | **Pieno** |
| 39 | **3,1** | 26 | **Pieno** |
| 38 | **3,2** | 25 | **Pieno** |

In tutte le classi, **con esclusione delle classi Minikart, MINI Gr.3 ed Entry Level** è consentito il montaggio, nel lato corona dell'assale, di una boccola forata di irrigidimento anche di materiale non magnetico, con esclusione dei materiali esotici e nobili, della lunghezza massima di 150mm.

E' consentito il montaggio all'interno dell'assale, in prossimità dell'alloggiamento dei mozzi, della corona e del rapporto, di una boccola forata di lunghezza compresa tra 30mm e 60mm, anche di materiale non magnetico, con esclusione dei materiali esotici e nobili, con esclusione Entry Level, Minikart e MINI Gr.3

E' consentito altresì, il montaggio di un tubo forato lunghezza 150mm max. all'interno del tubo della scocca lato rapporto in relazione alla classe, con esclusione dell'Entry Level, MINI Gr.3 e Minikart.

### 4.3 - Fuselli anteriori

Con attacco ad inclinazione libera e di materiale **magnetico**.

### 4.4 – Pianale: E' obbligatorio.

Deve essere in materiale rigido e deve coprire tutta la distanza tra il tubo anteriore al sedile e il tubo frontale del telaio. Se è forato, i fori non devono avere un diametro superiore a 10mm.

Un foro di un diametro massimo di 35mm è autorizzato, unicamente per accedere al fissaggio del piantone sterzo.

**Vietato l'uso del titanio.**

### 4.5 - Sospensioni

E' vietato qualsiasi dispositivo di sospensione sia elastica che articolata.

### 4.6 - Cerchi e ruote

- I cerchi devono essere da 5 pollici, ed essere costruiti in pezzo unico.
- La larghezza delle ruote può essere controllata in ogni momento della competizione; La dima deve passare liberamente fino all'appoggio del lato interno superiore della dima stessa sul pneumatico.
- La dima può essere introdotta in almeno tre punti diversi della circonferenza della ruota per evitare rilevamenti negativi in corrispondenza di deformazioni localizzate;
- Il fissaggio delle ruote deve comportare un sistema di sicurezza (dadi con coppiglia, autobloccanti e bulloni.
- Sul cerchio stesso non sono ammessi distanziali, flange, inserti e saldature.
- **Tutte le valvole o tutti i sistemi che regolano, limitano, oppure controllano la pressione dei pneumatici nel corso del loro utilizzo sono vietati**.

### 4.7 - Direzione

Deve essere comandata mediante volante. Piantone in materiale **magnetico** e tiranti rigidi.

II volante deve essere di forma circolare chiusa. La parte del volante, posta al di sopra dei 2/3 della sua circonferenza, può essere piatta.Vietato qualsiasi comando flessibile a cavo o a catena.

Tutti gli elementi della direzione devono avere un sistema di fissaggio di sicurezza (dadi con coppiglia o dadi autobloccanti).

### 4.8 - Trasmissione e cambio

**a)** Trasmissione diretta, tra motore e assale posteriore, mediante catena chiusa.
Vietato ogni tipo e/o sistema di differenziale.
Non è consentita la lubrificazione della catena durante l'uso in gara.

**b)** Obbligatorio il montaggio di un paracatena che deve avere forma tale da ricoprire integralmente la catena, il pignone e la corona sino a raggiungere la linea dell'asse della corona stessa.
II paracatena deve inoltre proteggere lateralmente, lato pignone per evitare che il conduttore possa introdurre le dita tra il pignone e la catena.

**c)** Per le classi con cambio di velocità, il paracatena dovrà essere una bandella plastica di larghezza minima 15mm, fissata con staffette al di sopra la catena stessa.
Non è consentito il montaggio di dispositivi supplementari che alterino la flessibilità originaria dell'assale o che non abbiano altro scopo che quello di supporto alla corona.
Tuttavia, il diametro di tale supporto, in qualsiasi modo esso sia strutturato, deve essere inferiore di almeno 60mm a quello della corona.

**d)** Per le classi con frizione monopezzo (mozzo frizione e campana frizione) è vietato ogni tipo di lubrificazione interna (grasso, oli, ecc.). In qualsiasi momento della gara sia in parco assistenza partenza che in parco assistenza arrivo, gli UUGG preposti possono effettuare una verifica del rispetto della disposizione sopra riportata.

**e)** In tutte le classi con cambio di velocità, il comando dell'inserimento delle marce deve essere manuale e meccanico, è vietato qualsiasi dispositivo (Elettrico, elettronico, ecc.) di servo assistenza per l'inserimento delle marce.

### 4.9 – Pedali

Qualunque sia la loro posizione, non devono oltrepassare i supporti del paraurti anteriore;
Il pedale dell'acceleratore deve essere obbligatoriamente munito di molla di richiamo.
E' vietato il fissaggio dei pedali sul pianale.

### 4.10 - Sedile

Di forma atta a trattenere il conduttore durante qualsiasi manovra di guida.

Al fine di evitare ogni scivolamento verso la parte anteriore o lateralmente all'atto della frenata, in tutte le classi il sedile deve prevedere un rinforzo metallico o plastico in tutti i punti di ancoraggio. Questi rinforzi devono avere uno spessore minimo di mm. 1,5 con una superficie minima 13cm$^2$ o un diametro minimo di mm. 40.Tutti i supporti devono essere imbullonati o saldati ad ogni estremità, se questi supporti non vengono utilizzati devono essere rimossi.

Altre tipologie di foratura del sedile, in particolare lateralmente, superiore a Ø 10mm non è consentito.

### 4.11 – Serbatoio

Il serbatoio **(uno)** deve essere in materiale plastico, deve avere una capacità di almeno 8 litri e deve rifornire l'impianto di alimentazione mediante la normale pressione atmosferica.

con eccezione delle classi MINI Gr.3-Minikart-Entry Level, capacità minima 2 litri.

L'attacco del serbatoio al telaio ne deve garantire la stabilità durante la competizione.

Le tubature di raccordo devono essere di materiale flessibile.

II serbatoio non deve costituire alcun accenno di carrozzeria.

Il serbatoio deve contenere solo il carburante.

### 4.11.1 – Impianto alimentazione del carburante dal serbatoio e carburatore;

### 4.11.2 - Classi MINI Gr.3 – Minikart – Entry Level.

Tutti i sistemi meccanici, manuali, elettronici, ecc. sono vietati. Il solo sistema per l'alimentazione è la pressione atmosferica normale, ciò significa che è possibile utilizzare una pompetta di alimentazione tra serbatoio e carburatore.
Pompa di alimentazione carburante: pneumatica**, marca Dell'Orto, cod. P34PB2.**
La pompa di alimentazione deve essere strettamente originale.
E' vietato l'utilizzo di qualsiasi sistema meccanico e non, agente sulla pressione interna del serbatoio.
Tra serbatoio, pompetta e carburatore è consentito montare un solo filtro carburante.
Per la descrizione del sistema di alimentazione **ved. allegato n. 5** in calce al presente regolamento
E' consentito l'utilizzo di un filtro carburante esclusivamente nel tratto tra serbatoio e pompa benzina. Nel tratto tra pompa benzina e carburatore deve essere presente il solo tubo carburante.

### 4.11.3 In tutte le classi con cambio di velocità

ll carburatore a vaschetta non deve presentare o montare sistemi di pressurizzazione diversi dalla pompa del carburante, è consentito utilizzare un rubinetto per regolare il flusso del carburante nel tubo mandata o ritorno. **Sui 2 raccordi dello sfiato del carburatore evidenziati in foto allegato 10, nessun tipo di accessorio collegato tra loro, diverso da tubetti, i quali collegati tra loro fungono da recupero, in gomma è autorizzato, lunghezza dei tubetti circa 130mm max.**

### 4.12 - Sicurezza

**Oltre a quelle di cui ai paragrafi precedenti, sono obbligatorie le seguenti ulteriori prescrizioni.**

**a)** Per evitarne la perdita, le pastiglie dei freni devono essere ancorate con un fermo di sicurezza oppure con un filo passante fra i perni di fissaggio.

**b)** Nei freni a comando meccanico, il filo di comando deve essere realizzato con doppio filo di acciaio (due guaine distinte) o con tirante di acciaio più filo guida e deve essere fissato con almeno due morsetti ogni capocorda. Il diametro minimo dei fili di comando dei freni deve essere almeno di mm. 1,8

**c)** Per i telai con omologazione FIA Karting, è obbligatorio l'utilizzo di un impianto frenante omologato.

**d)** Pedali: devono essere montati sui tubi principali del telaio.

**e)** Sistema sterzante: per evitare lo sfilamento della testina a snodo dei tiranti dello sterzo, sulla stessa deve essere montata una rosetta di diametro superiore alla testina stessa con possibilità di forare il pianale in corrispondenza del fissaggio del piantone sul telaio Ø del foro mm. 35 max.

**f)** Per evitare la fuoriuscita del pneumatico dal cerchio,
obbligo di almeno 3 viti di "anti stallonamento" (sia per cerchi slick che rain),
per le classi Minikart, Entry Level e MINI Gr.3, l'utilizzo delle viti antistallonamento è facoltativo.

**g)** Materiale del disco freno: acciaio magnetico o ghisa.

**h)** Freni descrizione e suo utilizzo:

- Classe con cambio di velocità KZ Nazionale omologati.

- Classe KZ2 con omologazione FIA Karting in corso di validità.
- Classe OK-OKJ- MINI Gr.3; Freni con omologazione FIA Karting in corso di validità, agenti sull'asse posteriore, vietato utilizzo freni con comando mauale e non per le ruote anteriori.
- Entry Level con omologazione ACI SPORT (ACI CSAI)
- Minikart 2020 con omologazione ACI SPORT (ACI CSAI) in corso di validità

**i)** Carrozzerie: Dimensioni e ingombri allegato 9a e 9b

## 4.13 – Silenziatori

**a) Silenziatore di scarico**

In tutte le classi, con cambio di velocità con esclusione delle classi provenienti dai TDM (Trofei di Marca) per le quali in fatto di silenziatori si applica il regolamento tecnico originario, è obbligatorio il montaggio di un silenziatore allo scarico omologato CIK-FIA in corso di validità. (ved. Tabella di seguito)
L'uscita dello scarico del silenziatore deve essere obbligatoriamente rivolta verso il basso.
II terminale del silenziatore deve essere contenuto nell'angolo formato tra il paraurti e il lato esterno della ruota posteriore.

**ELENCO SILENZIATORI DI SCARICO AMMESSI IN TUTTE LE CLASSI CON CAMBIO DI VELOCITÀ**

| MARCA | MODELLO | TIPO | n° Omologazione |
|---|---|---|---|
| D RACING | KZ2014 | Sarno | 1/EX-SI/22 Scadenza 31.12. 2022 |
| D RACING | KZ2014 | Varenne | 2/EX-SI/22 Scadenza 31.12. 2022 |
| ELTO RACING | OVS | Inox | 3/EX-SI/22 Scadenza 31.12. 2022 |
| ELTO RACING | OVD | Inox | 4/EX-SI/22 Scadenza 31.12. 2022 |
| ELTO RACING | TD | Inox | 5/EX-SI/22 Scadenza 31.12. 2022 |
| MC RACING | MC | KZ | 6/EX-SI/22 Scadenza 31.12. 2022 |
| ELTO RACING | OVS/2 | Metallic | 38/EX-SI/24 Scadenza 31.12. 2024 |
| ELTO RACING | TD/2 | Metallic | 39/EX-SI/24 Scadenza 31.12. 2024 |
| MC RACING | NEW MC | Allu.nio Anodizzato | 038-SE-93 Scad.za 2021 Prol.gato fino al 31.12. 2022 |
| ELTO RACING | TD3 | Metallic | 039-SE-24 Scad.za 2021 Prol.gato fino al 31.12. 2022 |

## b) Silenziatore di aspirazione:

In tutte le classi, è obbligatorio il montaggio di un silenziatore all'aspirazione:

- Classe Entry Level Omologato ACI SPORT 2020
- Classe Minikart 2020 con omologazione ACI SPORT 2020
- Classe MINI Gr.3 Omologazione FIA Karting in corso di vaidità
- Classe OK e OKJ Omologazione FIA Karting in corso di validità, con canotti di entrata Ø 23mm.
- KZN Under e Over omologato con canotti di entrata Ø 30mm.
- Classe KZ2 con Omologazione FIA Karting in corso di validità, con canotti di entrata Ø 30mm.
- TDM conformi al relativo regolamento tecnico approvato da ACI SPORT.
- La parte eccedente del **manicotto in gomma**, che fissa il Carburatore al Silenziatore di Aspirazione, all'interno del Silenziatore stesso, puö essere tagliato o raccordato.

**ELENCO SILENZIATORI DI ASPIRAZIONE AMMESSI (UTILIZZO OBBLIGATORIO)**
**IN TUTTE LE CLASSI, CON ESCLUSIONE: MINIKART - ENTRY LEVEL - TDM**

| MARCA | MODELLO | TIPO di Utilizzo | n° Omologazione |
|---|---|---|---|
| **KG** | **(1)NITRO 23** | Senza Cambio di Velocità | 7-SA-24 **Scadenza 31.12.2024** |
| **KG** | **(1)NITRO 30** | Con Cambio di Velocità | 8-SA-24 **Scadenza 31.12.2024** |
| **RIGHETTIRIDOLFI** | **ACTIVE 23** | Senza Cambio di Velocità | 28-SA-24 **Scadenza 31.12.2024** |
| **KG** | **(1)POWER 30** | Con Cambio di Velocità | **003-SI-30** **Scadenza 31.12.2022** |
| **KG** | **(1)POWER 23** | Senza Cambio di Velocità | **003-SI-23** **Scadenza 31.12.2022** |
| **RIGHETTIRIDOLFI** | **(1)NOX 2 30** | Con Cambio di Velocità | **005-SI-26** **Scadenza 31.12.2022** |
| **RIGHETTIRIDOLFI** | **(1)ACTIVE 30** | Con Cambio di Velocità | **005-SI-67** **Scadenza 31.12.2022** |
| **RIGHETTIRIDOLFI** | **(1)NOX 2 23** | Senza Cambio di Velocità | **005-SI-86** **Scadenza 31.12.2022** |
| **RIGHETTIRIDOLFI** | **(1)ACTIVE 23** | Senza Cambio di Velocità | **005-SI-33** **Scadenza 31.12.2022** |
| **KG** | **(1) KUBE** | **MINI Gr.3** | **003-SI-12** **Scadenza 31.12.2022** |
| **KG** | **(1) SHARK** | **MINI Gr.3** | **003-SI-78** **Scadenza 31.12.2022** |
| **LKE** | **(1) K3** | **MINI Gr.3** | **033-SI-33** **Scadenza 31.12.2022** |
| **Righetti Ridolfi** | **(1) ALIEN** | **MINI Gr.3** | **005-SI-19** **Scadenza 31.12.2022** |

***(1) In caso di gara sul bagnato può essere utilizzata solo la Protezione omologata non modificata, come descritto nella Fiches di Omologazione. Nessun altra appendice è autorizzata.***

## 4.14 – Carrozzerie:

In tutte le classi, sono ammesse carrozzerie omologate;
Per tutte le classi, le carrozzerie devono aver superato i crash test per l'omologazione FIA Karting,
con esclusione delle classi Minikart e Entry Level Omologate ACI SPORT 2020.

- **MINI Gr.3 con Omologazione FIA Karting, in corso di validità**

La superficie esterna delle carrozzerie laterali deve coincidere con il piano passante per le superfici esterne delle ruote anteriori e posteriori con pneumatici slick e rain, gonfiati a pressione d'uso (ved. Disegno n. 1 all'Art.4.15.)

a) Per le Classi Minikart e Entry Level, a partire dal 01.01.2021 è consentito l'utilizzo del telaio Omologato FIA Karting MINI Gr.3 con scadenza 31.12.2023

**Per l'utilizzo di questo Telaio è obbligatorio montare:**

- Carrozzerie Laterali Omologate FIA Karting MINI Gr.3
- Carenatura Anteriore Omologata FIA Karting MINI Gr.3
- Porta Numero Omologato FIA Karting MINI Gr.3
- Protezione Ruote Posteriori Omologate FIA Karting MINI Gr.3
- Impianto Freno Omologato FIA Karting MINI Gr.3

**4.14.1 -** Nelle classi, Minikart e Entry Level, sono ammesse carrozzerie omologate ACI CSAI **per la Carenatura Anteriore obbligo utilizzo quelle descritte nella tabella successiva** sui telai omologati da ACI CSAI 2015 – 2020
quelle con scadenza di omologazione ACI SPORT 31/12/2020 **Fissaggio con supporti di seguito descritti allegato 1**
**Elenco delle "Carenature Anteriori per Minikart 2020 e Entry Level"**

| *Marca* | *Modello* | *N° omologazione* ACI CSAI |
|---|---|---|
| EUROSTAR | MINI / BABY WINGS | 04/CZ/14 – 03/MUS/20 **Scadenza 31.12.2022** |
| FREE LINE | MK14 | 01/CZ/14 – 01/MUS/20 **Scadenza 31.12.2022** |
| KG | MK14 | 02/CZ/14 – 02/MUS/20 **Scadenza 31.12.2022** |
| OTK | M5 | 05/CZ/14 – 04/MUS/20 **Scadenza 31.12.2022** |
| CRG | NEW AGE | 01/CZ/20 **Scadenza 31.12.2022** |

**4.14.2** – Per le classi con o senza cambio di velocità, hanno l'obbligo di utilizzare le CARENATURE ANTERIORI FIA KARTING descritte nel seguente elenco:

### Elenco delle Carenature Anteriori Omologate FIA Karting in corso di validità.

| Marca | Modello | N° omologazione | |
|---|---|---|---|
| **CRG** | **NEW AGE 3** | **002-BF-37** | **Scadenza 31.12.2023** |
| **KG** | **507** | **003-BF-99** | **Scadenza 31.12.2023** |
| **OTK** | **M10** | **012-BF-10** | **Scadenza 31.12.2023** |
| **EUROSTAR** | **Dynamica** | **017-BF-60** | **Scadenza 31.12.2023** |

## MINI Gr.3

### Elenco delle Carenature Anteriori Omologate FIA Karting in corso di validità

| Marca | Modello | N° omologazione | |
|---|---|---|---|
| **KG** | **MK14** | **003-BF-12** | **Scadenza 31.12.2023** |
| **KG** | **MK20** | **003-BF-19** | **Scadenza 31.12.2023** |
| **OTK** | **M8** | **012-BF-93** | **Scadenza 31.12.2023** |
| **EUROSTAR** | **Dynamica** | **017-BF-77** | **Scadenza 31.12.2023** |

## 4.14.3 – Per tutte le classi;

**a)** Per utilizzo della **Carenatura Anteriore** con omologazione in corso di validità**,**

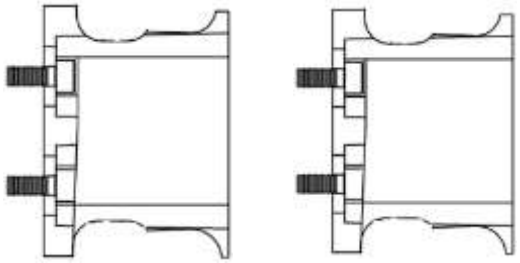
**Obbligatoriamente deve essere utilizzato** il Sistema di Fissaggio, descritto qui di seguito nell'**allegato 1**

**Omologato FIA Karting in corso di validità, delle ditte:**

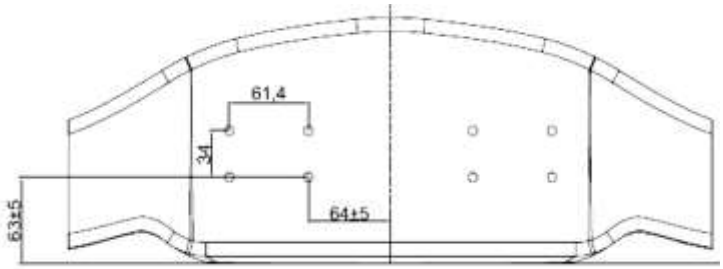
**RIGHETTI RIDOLFI modello Righetti Ridolfi XTR n° Omologazione 005-BK-99 per tutte le classi**
**KG Front Fairing Mounting KIT 003-BK-01 per tutte le classi**

**ALLEGATO 1**

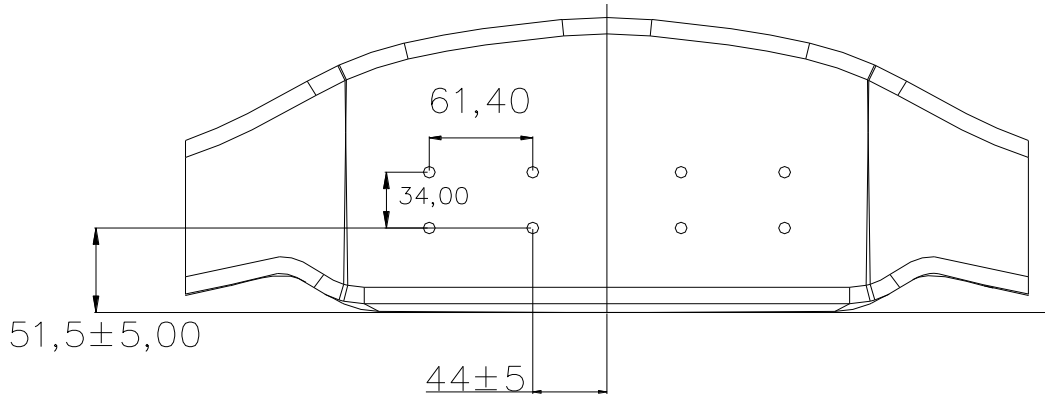
**Supporti per fissaggio Carenatura anteriore**



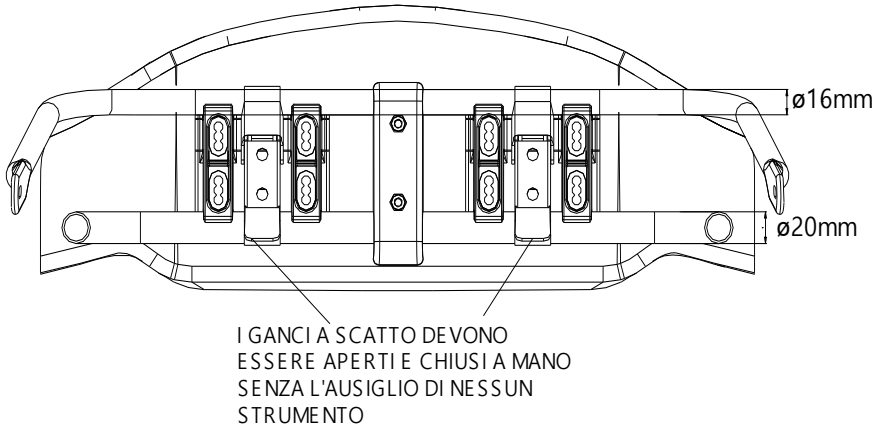
**a) Dimensioni per l'installazione del KIT Montaggio "Carenatura ANTERIORE"**
**Tutte le classi con esclusione Entry Level e Minikart**




**b) Dimensioni per l'installazione del KIT Montaggio "Carenatura ANTERIORE"**
**Classi MINIKART – ENTRY LEVEL – MINI Gr.3**




---



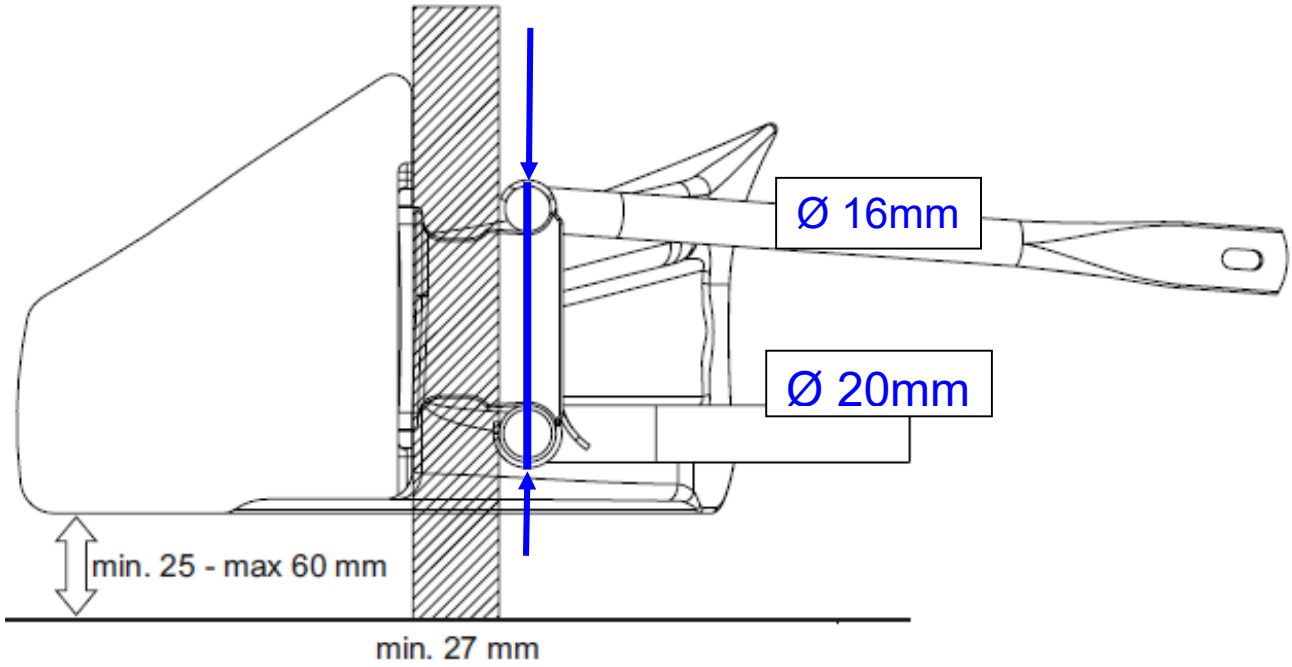

## c) Descrizione sistema di fissaggio della carenatura anteriore

**d)**La carenatura anteriore deve potersi muovere liberamente indietro verso la scocca del telaio, senza alcun ostacolo che possa limitarne il movimento, i 2 tubi( Ø16mm e Ø 20mm) in metallo **magnetico**, dove viene fissata la carenatura anteriore,
**devono essere stretti alla scocca del telaio**, la superfice dei 2 tubi deve essere liscia, senza nessun tipo di abrasione, senza lavorazione o aggiunta di materiale, che ne possa limitare il movimento.

Tutti gli interventi che possano limitarne la funzionalità e vietata. Deve avere un'altezza da terra in rapporto al piano inferiore di 25mm Min. e 60 mm Max in tutte le condizioni con pilota a bordo.

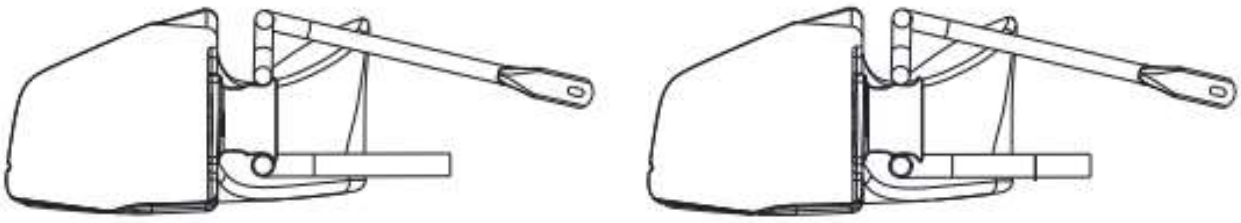
I tubi per l'alloggiamento della carenatura anteriore con omologazione FIA Karting, devono riportare lo stesso numero di omologazione della Carenatura Anteriore e rispettare le dimensioni, come descritte nel disegno qui di seguito.

In ogni caso, e in tutte le condizioni, **uno spazio di 27mm minimo,**
come di seguito descritto deve rimanere tra carenatura anteriore e i tubi

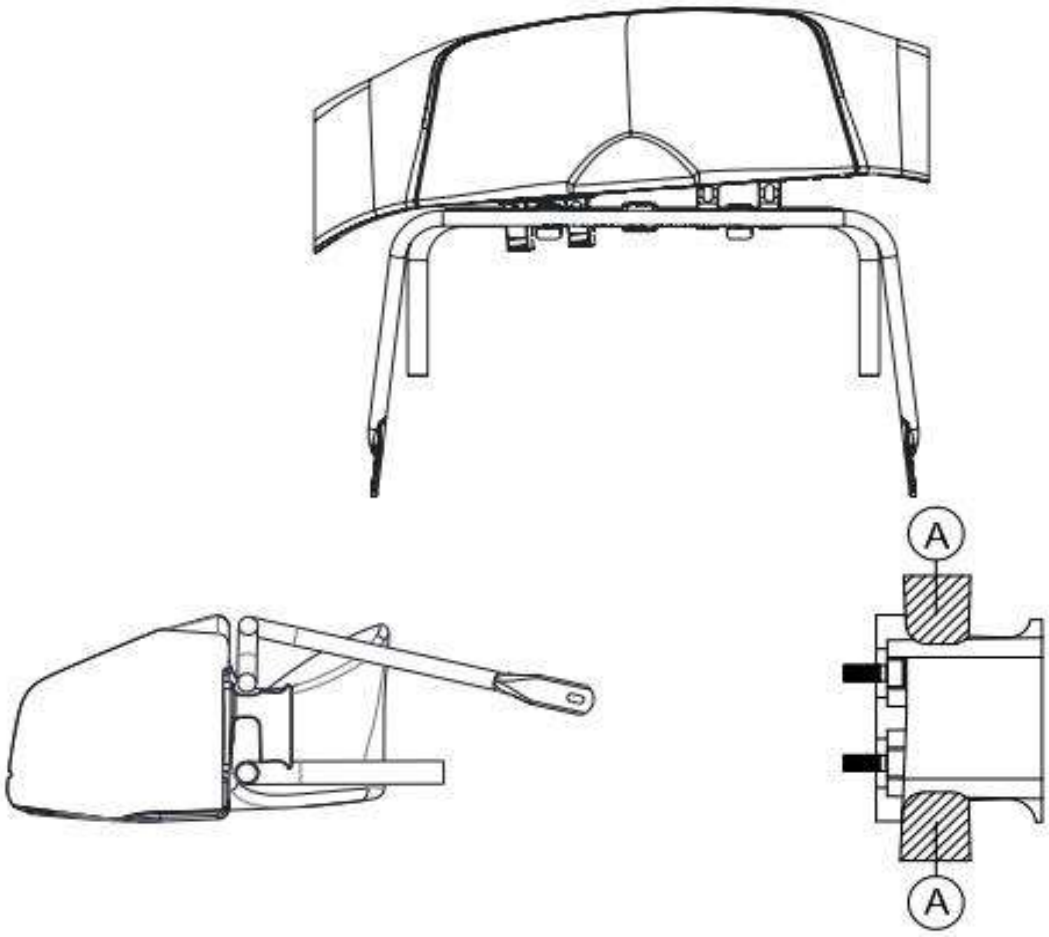



**Per TUTTE CLASSI:**
**I 2 tubi (tubo superiore Ø16mm e tubo inferiore Ø20mm)**
**Dovranno essere posizionati perpendicolari tra loro per rapporto al suolo.**
**(come da frecce in Blu le quali evindenziano la posizione corretta)**

**e)** **Posizione corretta** **Posizione accettabile**



**f)** **Posizione non corretta**




**Posizione non accettabile se una parte o tutti i tubi che supportano la carenatura anteriore sono nell'area contrassegnata (A)**

### 4.15 – Protezione delle ruote posteriori

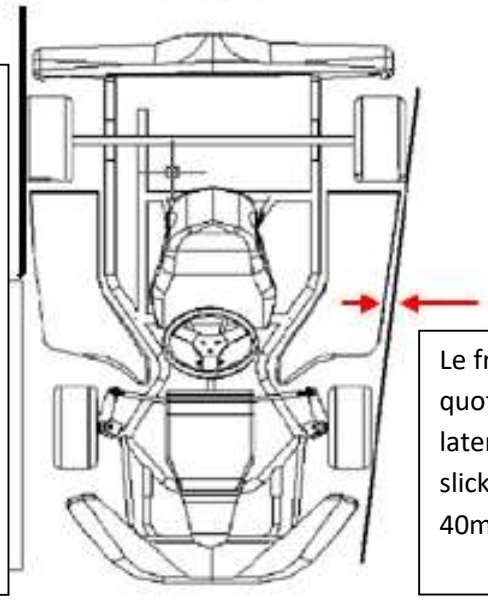
In tutte le classi, è obbligatorio l'utilizzo della protezione delle ruote posteriori conformi al RTN con omologazione ACI SPORT e al RTI FIA Karting, con omologazione FIA Karting**:**

- Classi 60 cc. Minikart e Entry Level, con omologazione ACI SPORT 2015-2020
- MINI Gr. 3 con omologazione FIA Karting dopo avere soddisfatto i relativi crash test per l'omologazione.
- Per tutte le altre classi utilizzo quelle Omologate dalla FIA Karting

Per il montaggio della protezione posteriore non è permesso di modificare il telaio in rapporto alla propria scheda di omologazione. Le protezioni ruote posteriori devono essere in plastica e non devono rappresentare pericolo per la sicurezza. La struttura deve essere inoltre in plastica, deve essere in tutti i momenti situata al di sotto il piano passante per l'altezza delle ruote posteriori;
le superfici della protezione devono essere uniformi e lisce; la protezione posteriore non deve presentare buchi o tagli oltre a quelli necessari al suo fissaggio e presenti all'epoca dell'omologazione;
Distanza tra la protezione posteriore e la superficie delle ruote posteriori deve essere tra
**15mm min. e 50mm max.** Altezza dal suolo 25mm min. 60mm max;
l'insieme della protezione posteriore deve essere fissata ai tubi principali del telaio mediante i supporti omologati con la protezione ruote posteriori. la protezione posteriore deve essere montata su tutti i telai.
L'utilizzazione di una protezione delle ruote posteriori integrale omologata CIK-FIA rende facoltativa il montaggio della barra anti-intrusione e della barra superiore.
In ogni condizione, la protezione ruote posteriori e le carenature laterali, non devono mai oltrepassare il piano esterno delle ruote posteriori. (ved. Disegno n. 1)

**Disegno 1**

Disegno 1



Verifica ingombro della Protezione Ruote Posteriori ingombro e della carrozzeria laterale sx e dx con gomme Rain.

Le carrozzerie laterali e la protezione ruote posteriori non devono oltrepassare l'esterno dei pneumatici posteriori, montati a pressione d'uso

Le frecce evidenziano la quota della carenatura laterale dx e sx, con gomme slick, la quale deve essere di 40mm max.

## 4.16 - Pneumatici

In ogni Gruppo di cui al precedente Art.1.2, fatta eccezione per le classi che disputano i Trofei di Marca approvati da ACI SPORT per i quali si rimanda ai rispettivi regolamenti di settore.
La marca ed il tipo degli pneumatici assegnati ai gruppi e classi **da ACI SPORT**
**sono quelli risultanti a seguito della gara d'appalto 2020-2022, di seguito descritti:**

**GRUPPO ALLIEVI E ENTRY LEVEL**
Marca Pneumatici **"MG"**
**SLICK** tipo **SC 10x4.00-5 Anteriori**
**SLICK** tipo **SC 11x5.00-5 Posteriori**
**RAIN** tipo **SCW 10x4.00-5 Anteriori**
**RAIN** tipo **SCW 11x5.00-5 Posteriori**

**GRUPPO CADETTI e GRUPPO JUNIOR**
Marca Pneumatici Slick**: LeVanto**
**KRT 10x4.50-5 Anteriori**
**KRT 11x7.10-5 Posteriori**
Marca Pneumatici **Rain "BRIDGESTONE"**
**WES "YPP" 4.5/10.0-5 Anteriori**
**WES "YPP" 6.0/11.0-5 Posteriori**

**GRUPPO SENIOR**
Marca Pneumatici **"MG"**
**SLICK** tipo **SM 10x4.60-5 Anteriori**
**SLICK** tipo **SM 11x7.10-5 Posteriori**
**RAIN** tipo **SW 10x4.20-5 Anteriori**
**RAIN** tipo **SW 11x6.00-5 Posteriori**

**GRUPPO SHIFTER- SUPER TAG**
Marca Pneumatici **"LE CONT"**
**SLICK** tipo **SVB 10x4.50-5 Anteriori**
**SLICK** tipo **SVB 11x7.10-5 Posteriori**
**RAIN** tipo **SV1 10x4.20-5 Anteriori**
**RAIN** tipo **SV1 11x6.00-5 Posteriori**

**Gruppo CLUB "RT CLUB"**

**Classi:**
50cc Puffo -50cc Easy -50cc Top Comer
58cc Motors by Drawing-60cc Baby
60cc S. Baby-60 Minikart-Super Mini
**Marca Pneumatici "VEGA"**
**SLICK** tipo **MINI 10x4.00-5 Anteriori**
**SLICK** tipo **MINI 11x5.00-5 Posteriori**
**RAIN** tipo **ACADEMY 10x4.00-5 Anteriori**
**RAIN** tipo **ACADEMY 11x5.00-5 Posteriori**

**Tutte le altre classi descritte nel RT CLUB**
**Marca Pneumatici "VEGA"**
**SLICK** tipo ***SL4 10x4.60-5 Anteriori**
**SLICK** tipo ***SL4 11x7.10-5 Posteriori**
**RAIN** tipo **W5 10x4.20-5 Anteriori**
**RAIN** tipo **W5 11x6.00-5 Posteriori**
***Descrizione in scheda "VEGA France" colore Rosso**

Sui pneumatici ***rain*** non sono consentite ulteriori scolpiture o ritocchi rispetto alle scolpiture originali.

- II riscaldamento diretto o indiretto dei pneumatici è vietato in qualsiasi momento.
- Sono vietati i trattamenti che alterano le caratteristiche e/o le prestazioni **(art.4.16.1 – 4.16.2)** dei pneumatici stessi. In caso di violazione delle presenti disposizioni i Commissari Sportivi devono adottare provvedimenti che possono arrivare fino all'esclusione dalla gara
- Sono vietati i pneumatici radiali e quelli parzialmente ricostruiti.
- Gli pneumatici possono essere impiegati con o senza camere d'aria.

- **La conformità degli pneumatici "SLICK & RAIN", sarà controllata in ogni momento e condizione, con le seguenti strumentazioni:**

**4.16.1 DUROMETRO:**

Procedura di controllo è la seguente:

- al termine delle prove ufficiali di qualificazione i pneumatici depositati dai piloti in parco chiuso sono controllati per classe con il durometro, in condizioni di accettabile uniformità di temperatura.
- Per ogni singolo kart deve essere controllato almeno un pneumatico. Lo stesso controllo può essere disposto, con decisione dei Commissari Sportivi, dopo ogni altra fase di gara.
- Al termine di ognuna di queste operazioni di controllo, i Commissari Tecnici calcolano la media delle misurazioni effettuate, per ogni singolo kart.
- I pneumatici per ogni singolo kart che presentano dei valori di durezza diversi da quanto descritto nella scheda, (IRHD ± 5) dopo aver calcolato la media (la media va calcolata sui 4 pneumatici ant. e post. per ogni kart), se uno o più kart, non rispettano la tolleranza descritta nella scheda di appartenenza per il tipo di pneumatico utilizzato, sono considerati non conformi.

**4.16.2 - Strumento MiniRAE Lite della società «RAE Systems Inc. (USA)**

Lo strumento/misuratore sarà utilizzato a partire dalle prove di qualificazione, manche di qualificazione, recuperi e fasi finali per verificare che i pneumatici "Slick e Rain" sono conformi. Il controllo verrà effettuato all'ingresso del parco assistenza partenza, la misurazione COV (Compositi Organici Volatili) dei pneumatici non può superare il valore di 15 ppm (parti per milione), in tutte le condizioni e momenti.

L'inquinamento/trattamento dei pneumatici, per esempio: "Spray olio catena, detergenti e spray per diverse utlizzazioni, deve essere evitata o controllata da parte dell'utilizzatore o concorrente, poiché ciò può comportare l'inquinamento dei/l pneumatico/i e di conseguenza il superamento del valore limite di "15ppm".

Qualora il controllo stabilisce che uno o più pneumatici superà il valore sopra indicato,saranno ritenuti non in regola.

Al pilota in questione non sarà consentito l'accesso al parco assistenza partenza e di conseguenza la non partecipazione alla gara (prove di qualificazione, manche di qualifica, gara di recupero e fase finale)

## É responsabilità del concorrente, mantenere i pneumatici in conformità.

## 4.16.3- Distribuzione e Gestione Pneumatici:

**a)** In occasione della competizione, secondo l'orario stabilito, una voucher deve essere acquisito da parte del concorrente presso il rivenditore o distributore preposto per l'evento, i pneumatici saranno distribuiti casualmente nel parco chiuso pneumatici o altro locale dedicato per l'evento.
I pneumatici avranno i codici a barra, al momento della consegna dei pneumatici, i codici a barra corrispondenti per ogni pilota saranno descritti su un documento che verrà redatto in 2 copie (1 copia per il concorrente, 1 copia resta nei documenti di gara), sarà firmato sia dall'UG addetto alla distribuzione e dal concorrente/pilota.

## I pneumatici consegnati, saranno stoccati e gestiti sotto la responsabilità del concorrente.

**b)** In occasione della competizione, secondo l'orario stabilito, una voucher deve essere acquisito da parte del concorrente presso il rivenditore o distributore preposto per l'evento, i pneumatici saranno distribuiti casualmente nel parco chiuso pneumatici o altro locale dedicato per l'evento, dovranno essere montati all'interno del parco assistenza partenza e riconsegnati agli addetti al parco chiuso pneumatici. Nel corso della manifestazione, ogni volta che il pilota accede in parco assistenza partenza ritira le gomme precedentemete consegnate, effettua la gara, al temine della gara, prima che esca dal parco assistenza arrivo, dovrà riconsegnare i suoi pneumatici al parco chiuso pneumatici.

### 4.17 - Massa

La massa complessiva minima viene rilevata col kart in ordine di marcia e il conduttore in tenuta di gara a bordo, nelle condizioni in cui viene tagliato il traguardo.

**L'eventuale zavorra deve essere posizionata e fissata solo ed esclusivamente, sul sedile e/o sulla scocca, ogni singolo pezzo non potrà superare una massa complessiva max. di 5kg**

**Ogni singolo pezzo di zavorra, deve essere fissato con almeno 2 viti da 8mm e dadi autobbloccanti.**

**Vietato il fissaggio sul PIANALE.**

Non è ammesso usare pallini di piombo come zavorra, sia in contenitori che nella struttura del telaio.

Non è ammesso zavorrare i paraurti e la tenuta di gara (tuta, casco, occhiali, guanti e scarpette).

Al pilota oltre a quanto descritto al paragrafo precedente, non è consentito portare indosso liquidi, pesi e altro materiale durante la manifestazione. Ogni pista deve disporre, per la verifica della bilancia, di pesi campione da 25kg o da 20kg ciascuno, per una massa complessiva di 100kg

Per controllare **la massa complessiva minima** del kart, i conduttori devono poter disporre della bilancia dall'inizio delle prove libere ufficiali della prima classe in programma.

### 4.17.1 – Procedura per il controllo della Bilancia e della massa minima complessiva;

**Le operazioni iniziano con il controllo della bilancia messa a disposizione dall'organizzatore e dai documenti, comprovanti la funzionalità, controllo e taratura. Per la verifica della massa minima complessiva, bisogna osservare la seguente procedura:**

1. Prima dell'inizio della manifestazione verificare la precisione della bilancia con i pesi campione messi a disposizione dall'Organizzatore, **il quale deve consegnare i documenti in corso di validità dell'avvenuto controllo periodico della bilancia e dei pesi campione** (5 da 20kg o 4 da 25kg per una massa complessiva di 100kg) al termine di questo controllo, redigere il relativo verbale e consegnare ai CCSS;
2. Effettuare il peso del kart in ordine di marcia e conduttore in tenuta di gara a bordo, nelle condizioni in cui viene tagliato il traguardo;

- a) In caso di massa complessiva non conforme:
- b) rimuovere tutto il materiale dalla bilancia e *notificare* lo zero al conduttore
- c) verificare nuovamente la precisione della bilancia (ved. prec. p.1) e *notificarla* al conduttore;
- d) redigere il verbale riportando la massa minima riscontrata e la massa complessiva minima di classe
- e) apporre firma dell'Ufficiale di Gara addetto alla bilancia e consegnarlo al Commissario Tecnico Nazionale.

Il materiale oggetto di pesatura non deve essere trattenuto.
In caso di massa minima complessiva non in regola, autorizzare il pilota ed il meccanico a liberare la bilancia far portare il kart nella zona di parco chiuso fino a nuove disposizioni dei CCSS.
Fino a quando la procedura del controllo della massa minima complessiva non è conclusa, nessun tipo di assistenza esterna (controllo pressione gomme, ricevere liquidi o altro) puö essere effettuata.

### 4.18 - Numeri di gara

Ogni telaio deve essere equipaggiato di quattro alloggiamenti per applicare il numero di gara (anteriore sul pannello frontale, posteriore sulla protezione ruote posteriori, laterale destro e laterale sinistro sulle carrozzerie laterali).
Il numero dovrà essere delle seguenti dimensioni con carattere 'Arial', altezza minima mm. 150 e larghezza minima mm. 20.
Essi dovranno essere di colore nero con fondo giallo.

## 4.19 - Carburante (benzina e olio per miscela)

La conformità della benzina sarà controllata con apparecchiature Digatron DT 15 per comparazione con un campione prelevato **dal punto vendita di carburante della rete stradale,** aperto, più vicino alla pista che gli Organizzatori devono indicare, unitamente al tipo di benzina verde (senza piombo) prescelto, mediante comunicato affisso nell'Albo Ufficiale di gara.

**Il carburante dovrà avere le caratteristiche indicate nella tabella "allegato 9"**

La conformità della benzina sarà controllata **con apparecchiatura Digatron DT 15** per comparazione con un campione prelevato **dal punto vendita di carburante della rete stradale** aperto più vicino alla pista che gli Organizzatori devono indicare, unitamente al tipo di benzina *verde (senza piombo)* prescelto, mediante comunicato affisso nell'Albo Ufficiale di gara.
Con questo controllo i Commissari Tecnici si limitano a verificare, con tolleranza ± 5, se il campione prelevato dal serbatoio del concorrente rispetta o meno i valori di riferimento del campione prelevato dal distributore. Le specifiche tecniche elencate al primo cpv. del presente articolo non sono quindi prese in considerazione ai fini del controllo per comparazione, ma soltanto nei successivi esami di laboratorio che i Commissari Sportivi hanno sempre la facoltà di disporre.
All'atto delle verifiche sportive ante gara i concorrenti sono obbligati a dichiarare l'olio lubrificante (un solo tipo) utilizzato nella preparazione della miscela.

**In gara possono essere usati soltanto gli oli con registrazione (Agrément) annuale FIA Karting in corso di validità**

II controllo può avvenire in qualsiasi momento della manifestazione, a discrezione dei Commissari Sportivi. In sede di pre-griglia i Commissari Sportivi, sentiti i Commissari Tecnici, hanno inoltre la facoltà di disporre, a loro discrezione e con spese a carico del concorrente, la sostituzione dell'intero contenuto del serbatoio del kart con miscela costituita da benzina della Compagnia fornitrice prelevata dal distributore aperto più vicino alla pista e olio di marca e percentuale dichiarati dal concorrente.
Ogni rifiuto di controllo o di sostituzione ed ogni non conformità della benzina utilizzata comporterà l'immediata esclusione dalla gara o dall'intera manifestazione. In relazione alla gravità dell'infrazione, i Commissari Sportivi potranno segnalare i concorrenti e conduttori implicati alla Procura Federale.
Le decisioni dei Commissari Sportivi conseguenti ai controlli effettuati con apparecchiature Digatron sono inappellabili.
I Commissari Sportivi, indipendentemente dai controlli sul campo di gara, potranno disporre esami di laboratorio con le procedure già previste dal regolamento.
Nota:
L'area adibita al controllo della benzina (circa 4 $m^2$):

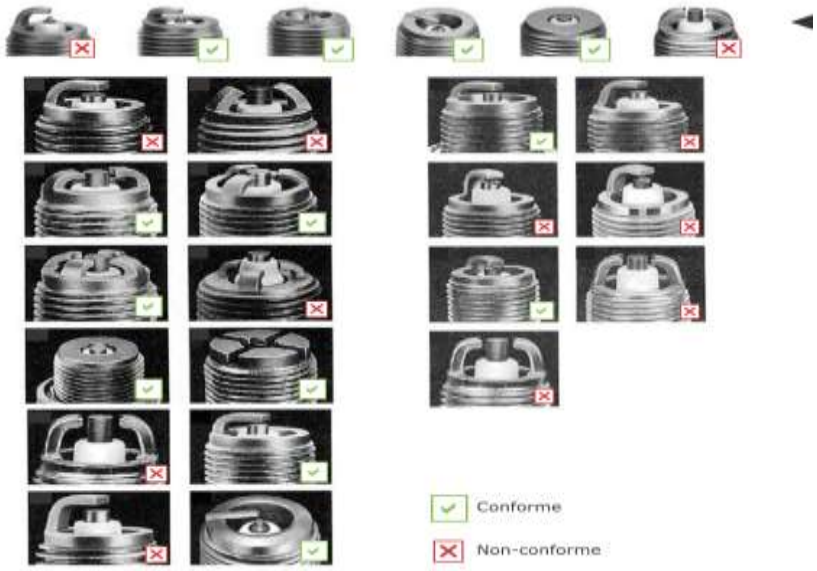
- deve essere allestita su terreno assorbente (es. sabbia) e in zona lontana dal Paddock, dal parco gomme e dal parco chiuso;
- deve essere interdetta alle persone estranee a quelle addette ai controlli;
- deve essere dotata di almeno due estintori brandeggiabili caricati con gli agenti estinguenti.

Gli addetti ai controlli devono proteggersi con grembiuli e guanti ignifughi e con mascherine di protezione per le vie respiratorie messi a disposizione dall'Organizzatore.

### 4.20 - Disposizioni diverse

### 4.20.1 Candela

In tutte le classi con volume della camera di combustione vincolato, la candela di accensione utilizzata, salvo diversa indicazione, deve essere di serie e deve rimanere strettamente originale. **E' vietata qualsiasi lavorazione**. Il bordo finale della candela serrata sulla testata e l'isolante dell'elettrodo (elettrodo non compreso) non deve oltrepassare la parte superiore della cupola della camera di combustione ved. esempi di candele nella tabella seguente:




### 4.20.2 Acquisizione dei dati

Questo sistema, con o senza memoria, può consentire solo la lettura dei seguenti parametri:

- giri motore per induzione sul cavo della candela;
- due indicazioni di temperatura;
- la velocità di una ruota;
- un X / Y accelerometro;
- i dati GPS;
- e tempi sul giro.

Salvo diversa indicazione per la classe di utilizzo.

### 4.20.3 – Metodo per misurare la DISTRIBUZIONE (diagramma) per tutte le classi MINI Gr.3 – Minikart Nazionale

*Gli angoli di apertura delle luci di aspirazione, dei travasi e della luce di scarico*

La misura dei gradi di scarico, di aspirazione e dei travasi, devono essere rilevati, ove previsto, mediante uno spessimetro da 5mm di larghezza con spessore 0,2mm

Sono vietate tutte le lavorazioni sul profilo di corda che possono alterare il profilo originale della canna cilindro.

Per il sistema di distribuzione PISTON PORT;

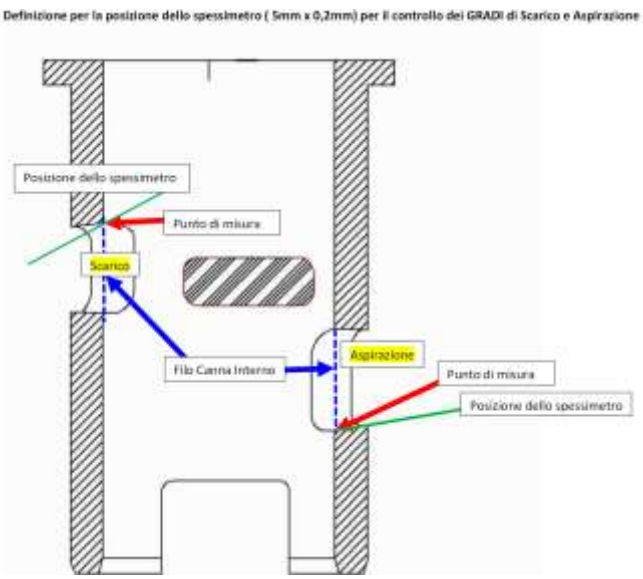
**Sono vietate lavorazioni sul pistone lato aspirazione e scarico,** inoltre;

Qualsiasi dispositivo, lavorazione o artificio, atto a modificare gli angoli che regolano apertura e chiusura delle luci o permettono di aumentare direttamente o indirettamente il ciclo di aspirazione e di scarico è vietato.

**Vietata qualsiasi lavorazione della camicia e/o del pistone**. che consente un flusso di miscelazione all'interno del cilindro quando il bordo inferiore del pistone a chiuso la luce di ammissione **(aspirazione).**

Questo riguarda in particolar modo e nello specifico,

la lavorazione del bordo inferiore del pistone o mantello, lato luce di aspirazione e della base della canna cilindro lato aspirazione per tutta la sua larghezza e lunghezza dove viene introdotto lo spessimetro che rileva la misura del diagramma.




## a) Travasi

Lo spessimetro viene introdotto in corrispondenza del profilo di corda di ciascuna luce interna della canna del cilindro, il bordo della parte superiore della fascia elastica del pistone o del pistone stesso.
La posizione con cui lo spessimetro **pinzerà** i bordi sarà considerata l'inizio e la fine della misura.

## b) Scarico

Questo spessimetro può essere introdotto, attraverso l'interno del cilindro oppure attraverso il condotto della luce di scarico lato collettore di scarico, nella parte più alta della luce stessa.
Non sarà obbligatoria la sua introduzione ma è importante che la sua posizione abbia un'angolatura di circa 45° rispetto al filo corda canna interna, la posizione con cui lo spessimetro **pinzerà** i bordi sarà considerata l'inizio e la fine della misura.

## c) Aspirazione

Lo spessimetro viene introdotto nella luce di aspirazione, dall'esterno verso l'interno, nella parte più bassa della luce.
Il bordo della parte inferiore del pistone e la parte piana della canna cilindro filo canna interno,
che pinzerà sarà considerata l'inizio e la fine della misura.

Qualsiasi lavorazione della canna cilindro e/o del pistone, che consente un flusso di miscela attraverso il cilindro e/o verso il basamento quando il bordo inferiore del pistone ha chiuso la luce di aspirazione, è vietato.

- **Qualsiasi dispositivo o artificio, che possa cambiare gli angoli delle luci regolamentate, aumentare direttamente o indirettamente il ciclo di Scarico, Aspirazione e di Trasferta( Travasi) è VIETATO.**
  Tutte le misure e la lettura possono essere eseguite usando un display digitale, con dispositivo di misurazione azionato da un codificatore, oppure con un disco graduato, con Ø min di 200mm.

**4.20.4 - Sistema di raffreddamento**

Un solo circuito di raffreddamento e una sola pompa, utilizzo solo ed esclusivo della sola acqua(H2O)

Pompa dell'acqua meccanica integrata al motore oppure per trascinamento sull'assale posteriore.

La pompa acqua con comando elettrico/elettronico è VIETATO

**a)** Per le classi, **OK e OKJ un solo radiatore.**

**b)** L'utilizzo della banda adesiva sui radiatori è consentita se la stessa ricopre interamente il radiatore, in questo modo è possibile utilizzarla poiché il pilota non ha possibilità di staccarla durante la gara.

**c)** Per la regolazione delle temperature sono ammessi dispositivi mobili, regolabili ma non amovibili quando il kart è in marcia.

Questi dispositivi non devono presentare elementi di pericolosità.

Sistemi di "by-pass" tipo "calorstat" sono ammessi.

**d)** In tutte le classi il radiatore deve rispettare le seguenti misure di ingombro:

deve trovarsi sopra la scocca del telaio, ad un' altezza massima per rapporto al suolo di 500mm e deve essere posizionato a 550mm max. dal centro dell'assale posteriore verso l'anteriore del telaio

**e) In condizioni di temperatura (meteo) esterna di freddo, è consentito l'utilizzo di una protezione davanti al cilindro motore. Questa protezione deve essere fissata correttamente davanti al cilindro e può essere realizzata anche in materiale composito**

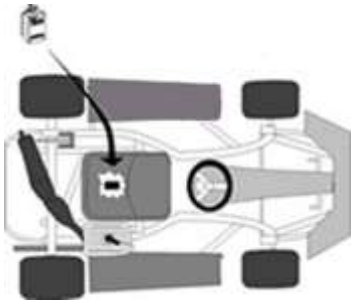
## 4.20.5 - Accensioni

É vietato l'utilizzo di ogni tipo di ritardatore.
Per le altre disposizioni, vedere i relativi regolamenti di classe.
In sede di parco chiuso lato partenza i Commissari Sportivi, sentiti i Commissari Tecnici, hanno la facoltà di disporre, a loro discrezione, la sostituzione dell'accensione con quella fornita agli organizzatori dai costruttori interessati.
L'accensione di proprietà del concorrente sarà restituita al termine di ciascuna fase di gara.
Ogni rifiuto di sostituzione dell'accensione da parte dei concorrenti interessati comporterà l'immediata esclusione dalla gara o dall'intera manifestazione. In relazione alla gravità dell'infrazione i Commissari Sportivi segnaleranno gli addebiti alla Procura Federale.

### 4.20.6 - Trasponder

In caso di cronometraggio per mezzo di *trasponder* è obbligatorio posizionare il *trasponder* nel modo indicato nel Disegno n. 3 seguente. Il posizionamento è sullo schienale del sedile, ad un'altezza da terra
di 250mm (±50 mm.)

Disegno 3 (Posizione del Trasponder)



### 4.20.7 - Modifiche

Qualsiasi modifica è VIETATA se non è esplicitamente autorizzata da un articolo del presente regolamento, oppure per ragioni di sicurezza decise da ACI SPORT.
Per modifiche si intendono tutte le operazioni suscettibili di cambiare l'aspetto iniziale, le dimensioni, i disegni oppure le fotografie di una parte originale rappresentata nella scheda di omologazione o di registrazione.
Inoltre, ogni artificio atto a modificare direttamente o indirettamente gli angoli di aspirazione, di scarico, dei travasi ed il volume della camera di combustione è vietato.
Qualsiasi modifica o montaggio avente l'effetto di alterare o modificare un valore regolamentare o il suo controllo, è considerata fraudolenta ed è dunque VIETATO.

### 4.20.7.1 – Classi Minikart - Entry Level – MINI Gr.3

Tutte le aggiunte o fissaggi di materiali o di particolari sul telaio, sulle carrozzerie, sul portanumero e sulla carenatura anteriore sono vietate se non espressamente consentite dal presente Regolamento Tecnico di Settore Karting.
Per aggiunte o fissaggi si intendono tutte le appendici, paratie o plastiche applicate per il convogliamento forzato dell'aria.
E' autorizzato esclusivamente l'uso di un profilo o appendice per il convoglio dell'aria per il raffreddamento dei freni o in caso di pista dichiarata bagnata per la protezione del carburatore, dove non è descritto nella scheda di omologazione del Silenziatore di Aspirazione, se la protezione per la pioggia e inserita nella scheda di omologazione, in questo caso è obbligatorio utilizzare solo quella.

### 4.20.8 - Carburatore e condotto di ammissione

Tutti i sistemi d'iniezione sono vietati. La polverizzazione deve essere prodotta solo dal carburatore, altri sistemi sono vietati.
Per tutte le classi senza cambio di velocità, un dispositivo meccanico manuale addizionale della regolazione tramite mollette di richiamo è autorizzato, senza modificare il carburatore omologato.
Il condotto di ammissione (montaggio meccanico tra il silenziatore di aspirazione omologato ed il pacco lamellare o cilindro) deve essere costituito dal silenziatore di aspirazione, dal carburatore e dal coperchio del pacco lamellare e del cilindro.
L'eventuale applicazione di una flangia con *O-ring* o guarnizioni (un *o-ring*/ guarnizione anteriore ed un *O-ring*/guarnizione posteriore) tra carburatore e supporto del pacco lamellare è consentita. Nessun pezzo supplementare è autorizzato. La flangia deve avere una sezione trasversale cilindrico-conica, essere fissata meccanicamente con viti, bulloni o dadi e non deve presentare innesti che si incastrano nei particolari sopra descritti. Inoltre ogni collegamento che induce un volume supplementare, comprese raggiature, camere interne e collegamenti nel condotto di ammissione è vietato.
Con riferimento al presente articolo, a maggior chiarimento per tutti i partecipanti alle gare karting, si ribadisce che ogni immissione dell'aria all'interno del motore deve avvenire esclusivamente attraverso il condotto del silenziatore di aspirazione del carburatore.
Nel corso delle gare possono essere effettuati controlli per verificare l'esistenza di eventuali altre infiltrazioni di aria non consentite. I controlli avverranno mediante l'ostruzione del condotto di immissione dell'aria del carburatore (aspirazione) e sull'uscita del collettore di scarico.
Qualora a seguito di tale operazione **il motore non dovesse spegnersi**, i Commissari Sportivi della manifestazione potranno prendere i provvedimenti che riterranno opportuni.

# SEZIONE III - GRUPPI E CLASSI NAZIONALI

**Art. 5 – CLASSE MINIKART 2020**

Monocilindrico 60cm³ max, ad ammissione di tipo "Piston Port", raffreddato esclusivamente ad aria "libera", con avviamento *on board* (TAG), conforme al presente regolamento tecnico ed alla propria scheda di omologazione approvata dalla CSAI con validità 01/02/2015 – 31/12/2020.

L'identificazione del motore omologato e dei suoi componenti dovrà essere possibile grazie alle descrizioni tecniche,marchi, foto, disegni quotati, ecc. contenute nella scheda di omologazione.

I pezzi del motore omologato devono sempre conservare la loro costruzione di origine ed essere conformi e identificabili per mezzo della MARCA del costruttore, delle foto, dei disegni e dimensioni descritti nella scheda di omologazione. I 7 particolari del motore

TESTATA, CILINDRO, CANNA CILINDRO, ALBERO MOTORE, BIELLA, PISTONE ed i CARTER MOTORE, come scritto in precedenza, devono essere quelli originali del costruttore stesso. Vietato manomettere marchi e sigle del costruttore.

I motori devono sempre, ed in qualsiasi momento essere conformi alle caratteristiche descritte sulla scheda di omologazione.

**Qui di seguito l'elenco:**

| Marca | Modello | N° Omologazione | |
|---|---|---|---|
| **COMER** | **TAG 60** | **02/M/20** | **Validità fino al 31.12.2022** |
| **IAME** | **MINISWIFT** | **03/M/20** | **Validità fino al 31.12.2022** |
| **LAURA** | **HTL** | **04/M/20** | **Validità fino al 31.12.2022** |
| **LKE** | **R 14** | **01/M/20** | **Validità fino al 31.12.2022** |
| **PAROLIN** | **ROCKY 60** | **06/M/20** | **Validità fino al 31.12.2022** |
| **TM** | **60 MINI** | **07/M/20** | **Validità fino al 31.12.2022** |
| **VORTEX** | **MR3** | **05/M/20** | **Validità fino al 31.12.2022** |

**a)** Candela: di marca libera del tipo tradizionale ad un solo elettrodo; la candela deve restare di origine, nessun tipo di lavorazione è consentita.

Misure: lunghezza mm. 18,5 max, passo M14x1,25 (vedi foto n. 1); l'isolante ed il bordo finale della candela montata sulla testa non deve inserirsi nella camera di scoppio, elettrodo non compreso (vedi Foto n. 2).

**Foto 1**

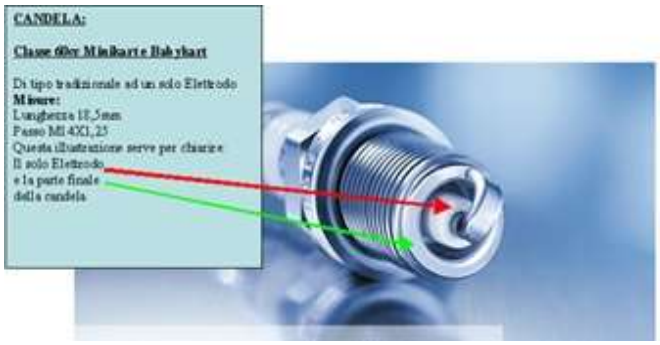
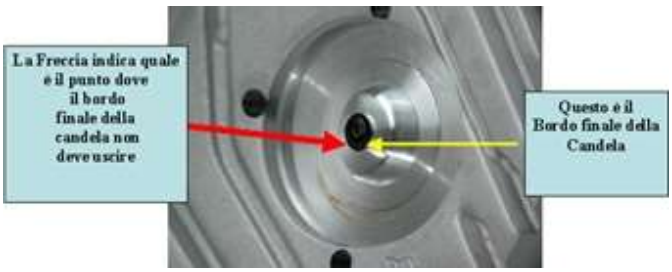



**Foto 2**




**b)** Volume della camera di combustione: 6,8cm³ min., verificabile come da procedura (**allegato 1)**.

Ogni artificio atto a modificare direttamente o indirettamente il volume della camera di scoppio, è vietato.

**c)** Forma della camera di combustione e squish, verificabile con la dima fornita dal Costruttore.

**d)** Carburatore a vaschetta, Ø del venturi 18,00mm, omologato ACI SPORT, di tipo non elettronico, sistema del massimo con regolazione meccanica della miscela a mezzo di spillo conico, sistema del minimo con getto e vite di regolazione miscela o aria; il carburatore deve sempre conservare la propria costruzione di origine e deve restare conforme alla propria scheda di omologazione. **Ogni tipo di lavorazione, raccordatura, lucidatura, aggiunta o asportazione di materiale è vietata**. Per il fissaggio del silenziatore di aspirazione al carburatore è consentito di utilizzare una ghiera anche di materiale **non magnetico**; il suo fissaggio non deve altresì alterare il carburatore omologato.

La ghiera filettata, avvitata sul carburatore, serve per fissare il silenziatore di aspirazione, la ghiera stessa, non deve in alcun modo interferire all'interno del condotto di ammissione del carburatore omologato.

La distanza minima del piano di appoggio del carburatore dall'asse del cilindro è riportata nella scheda di omologazione del motore, essa va verificata con la dima fornita dal costruttore.
Il carburatore deve essere verificato mediante tampone *non passa* fornito dal costruttore del carburatore stesso.

**Pompa alimentazione carburante marca; DELL'ORTO mod.P34 PB2 (allegato 3)**

**e)** Avviamento elettrico *on board (TAG),* alimentato da batteria dedicata in esclusiva allo start.

**f)** Frizione: disegno mozzo frizione unico uguale per tutti. Il regime di primo trascinamento (attacco) della frizione è stabilito in rpm 3500 max. Il controllo può essere effettuato in pregriglia oppure alla fine dopo aver effettuato la procedura di peso, con kart in ordine di marcia e pilota a bordo, mediante verifica dell'avanzamento del kart al regime di rpm 3500. La frizione deve essere in presa diretta al 100% al minimo dei 4500 rpm in tutte le condizioni. Un sistema di controllo tramite acquisizione dati (tipo ALSPY oppure UNILOG) per verificarne la sua presa diretta in tutte le condizioni può essere utilizzato. La corona dell'avviamento deve essere montata sul lato frizione e deve essere realizzata anche in materiale non magnetico (vietati materiali esotici o nobili). **Il motore deve essere dotato di un interruttore di arresto efficace e sicuro.** La batteria deve essere fissata in modo efficacie (cestello di contenimento fissato solidalmente al telaio mediante cavalletto con viti, elastici di adeguata robustezza, cinghia stringente o fascette in plastica di larghezza non inferiore a 4,8mm.). La batteria non deve in alcun modo interferire con l'accensione.

**g) Marmitta:** disegno unico, dimensioni e quote come descritto nell'**allegato n.5**

**Eventuali Marcature delle stesse, solo dai COSTRUTTORI dei motori Omologati.**

**h)** Accensione: Dedicata al motore, (descritta nella propria scheda di omologazione di ogni modello) con limitatore di giri a 14000 rpm max, centralina di colore **verde**, il costruttore del motore dichiara il tipo di accensione.

# Art. 5.1 Procedura del sorteggio della centralina di accensione art. 7

### Art. 5.2 Telai

Omologati ACI 2015-2020 e possibilità, di utilizzare telai, per i quali i costruttori hanno richiesto il prolungamento di omologazione e descritti nell'apposita tabella.
L'identificazione del telaio omologato e dei suoi componenti dovrà essere possibile grazie alle descrizioni tecniche (foto, disegni, quote, ecc.) contenute nella scheda di omologazione.
Le modifiche al telaio omologato come, ad esempio, la posizione dei tubi sono autorizzate nel rispetto delle quote riportate nella scheda di omologazione approvata. La posizione delle curve non può essere modificata. Le curve devono rimanere nella stessa posizione riportata nella scheda di omologazione approvata.
I tubi del telaio devono essere in materiale magnetico. Il controllo per verificarne il loro campo magnetico deve essere effettuato con una calamita le cui caratteristiche sono riportate nell'allegato n. 4 in calce al presente regolamento. L'utilizzo di materiali compositi, esotici e nobili è vietato.
II loro diametro deve essere quello dichiarato sulla scheda di omologazione.
E' vietato il montaggio sul telaio omologato di qualsiasi barra stabilizzatrice o di irrigidimento.
Il sedile deve essere fissato al telaio mediante 4 punti saldati al telaio stesso. E' vietato l'utilizzo di barre di rinforzo al sedile.
I fuselli devono essere ad attacco fisso o registrabile. in materiale magnetico. L'utilizzo di materiali compositi, esotici e nobili è vietato. Possibilità di utilizzare sedile, pianale e copricatena in materiale composito.

**Possibilità di utilizzo Telai Omologati FIA Karting MINI Gr.3**
**Per chi usa telai con Omologazione FIA Karting Gr.3, il suo utilizzo vincola e obbliga, il montaggio dei particolari, descritti nel precedente art. 4.14 comma a**

### 5.3 – Freni

Freni a funzionamento idraulico agenti soltanto sulle ruote posteriori, con omologazione
ACI-CSAI 2015-2020 e possibilità, di utilizzare impianto Freno, per i quali i costruttori hanno richiesto il prolungamento di omologazione e descritti nell'apposita tabella. **Materiale del disco freno: acciaio o ghisa.**

**5.4 – Carrozzerie Utilizzo come da articoli 4.14 / 4.14.1/ 4.14.2 /4.14.3 / Allegato 1 / comma A-B-C-D-E-F**

**5.5 – Protezione Ruote Posteriori vedi art 4.15**

**5.6 – Ruote e Pneumatici**

**a)** Cerchi: In pezzo unico, materiale in alluminio e sue leghe, con esclusione del titanio, delle fibre nobili (kevlar, carbonio, ecc.)

**b)** larghezza massima ruota completa, con pneumatico montato a pressione d'uso:

- anteriore 115mm (verifica con dima di mm. 117) Peumatici: 5"( pollici)
- posteriore 150mm (verifica con dima di mm. 152) Pneumatici: 5"( pollici)

**5.7 – Massa minima complessiva 110kg**

# Art. 6 - CLASSE ENTRY LEVEL

**6.1– Motore**

**Motori valgono le disposizioni descritte nei precedenti articoli 5 con l'eccezioni di seguito descritte:**

**6.2 – Accensione**

Omologata da ACI CSAI 01/01/2010 – 31/12/2014,

Con limitatore di giri a 11000 rpm max, centralina di **COLORE BLU**

**Sistema di sorteggio delle centraline come da procedura art. 7**

**6.3 - Rapporto Pignone: Z11/82**

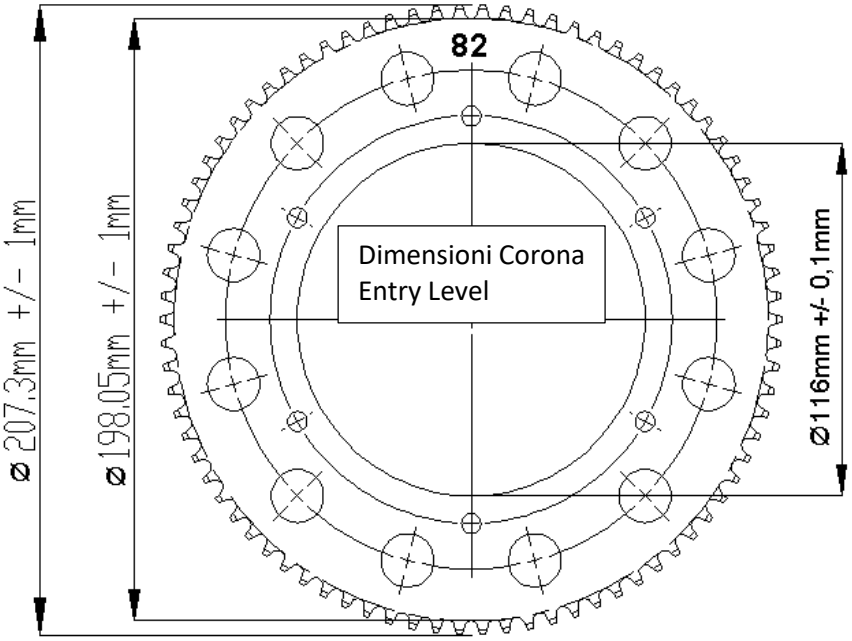
**6.4 – Sistema per verifica rapporto "CORONA Z82"**

Si descrivono le quote per la verifica sul campo di gara delle dimensioni della CORONA "82 denti".

Fissaggio esclusivamente tramite bulloni e dadi Ø 6mm.

E' vietato qualsiasi fissaggio flottante con perni, sieger e altro.

Fissaggio esclusivamente con bulloni e dadi.




**6.5 - Carburatore a vaschetta**.

**DELL'ORTO, mod. PHBN Tipo PHBN 14 MS – Reg.03139**,

con n° di omologazione 02/CRB/14, Ø del venturi 14.00mm., di tipo non elettronico, sistema del massimo con regolazione meccanica della miscela a mezzo di spillo conico, sistema del minimo con getto e vite di regolazione miscela o aria; **il carburatore deve sempre conservare la propria costruzione di origine e deve restare conforme alla propria scheda di omologazione. Ogni tipo di lavorazione, raccordatura, lucidatura, aggiunta o asportazione di materiale è vietata;** La ghiera applicata sul carburatore, per fissare il silenziatore di aspirazione non deve in alcun modo interferire all'interno del condotto di ammissione del carburatore omologato.

la distanza minima del piano di appoggio del carburatore dall'asse del cilindro è riportata nella scheda di omologazione del motore. Il carburatore deve essere verificato mediante tampone *non passa* fornito dal costruttore del carburatore stesso. Pompa alimentazione carburante marca;

**DELL'ORTO mod.P34 PB2 ( allegato 3)**

**6.6 – Telai:** Ved. prec. **Art. 5.2**

**Possibilità di utilizzo Telai Omologati FIA Karting MINI Gr.3**

**Per chi usa telai con Omologazione FIA Karting Gr.3, il suo utilizzo vincola e obbliga, il montaggio dei particolari, descritti nel precedente art. 4.14**

**6.7 - Ruote e Pneumatici Ved. prec. Art. 5.3** con la seguente eccezione:

- **Dimensione dei cerchi posteriori:**
- ***misura esterna 140mm ±1***
- ***misura interna bordo 130mm ± 1mm***

**6.8 – Marca e tipo degli pneumatici** Ved. prec art. 4.16

**6.9 – Massa Minima Complessiva: 90kg** Minimo

**6.10 Carrozzerie,** vedi precedenti art.li **4.14 - 4.14.1 - 4.14.2 - 4.14.4 - allegato 1 comma c-e-f-g**

**6.11 Protezione Ruote Posteriori art.4.15**

**Art. 7**

## Procedura del sorteggio della centralina di accensione fra i piloti delle classi:

**Minikart ed Entry Level, durante lo svolgimento di una manifestazione.**

**La centralina dell'accensione viene estratta a sorte con la seguente procedura**:

- alla fine delle prove libere il conduttore deve consegnare ai Commissari Tecnici la propria centralina;
- i Commissari Tecnici verificano con strumento apposito (fornito dalla ASN) la conformità
- dellacentralina;
- la centralina deve essere sprovvista di segni di identificazione, marchi e scritte varie, pena l'esclusione dalla manifestazione;
- ogni qualvolta che il conduttore entra in parco assistenza-partenza prenderà dal contenitore all'uopo predisposto una centralina;
- ogni qualvolta che il conduttore rientra in parco assistenza-arrivo dopo aver effettuato la procedura del peso, deve consegnare la centralina utilizzata;
- questa operazione viene effettuata ogni qualvolta che il conduttore entra nel parco assistenza-partenza e nel parco assistenza-arrivo, in relazione alla tipologia della gara, alla fine della manifestazione ad ogni pilota, resta la centralina utilizzata nell'ultima gara.

## Art. 8 – Classe OK & OKJ Regolamento Tecnico e Norme Specifiche.

**Art. 8.1-Regolamento Tecnico;**

Solo l'ammissione lamellare è autorizzata.

I pezzi di origine del motore omologato devono sempre essere conformi e similari alle foto, disegni, materiali e grandezza fisica descritta nella fiches di omologazione.

**Modifiche autorizzate:**

**Tutte le modifiche del motore omologato, sono autorizzate salvo:**

**a) All'interno del motore:**

- La corsa
- L'alesaggio (fino alla limitazione massima)
- L'interasse di biella
- Il numero dei canali di trasferta e luci di ammissione nel cilindro e nei carter motore.
- Tutti i trattamenti della superfice della canna cilindro, incluso ma non limitato ,il trattamento chimico e l'aggiunta di rivestimento.
- Le restrizioni secondo le norme specifiche.
- La limitazione al 4% del lubrificante per miscelare il carburante.

**b) All'esterno del motore:**

- Il numero dei carburatori
- L'aspetto del motore montato, non sono considerate modifiche all'esterno del motore, il cambiamento di colore dei pezzi, il taglio di connessione per il raffreddamento e modifica di fissaggio (incluso ma non limitato agli attacchi del carburatore, accensione, scarico e motore stesso) a condizione di non cambiare la loro posizione omologata.

**Art. 9 - Regolamento Specifico Classe OK:**

- Motore alternativo a 2 tempi a trasmissione diretta monocilindrico, omologato dalla CIK-FIA, in corso di validità
- Tutte le modifiche dei motori omologati sono autorizzati ai sensi dell'art. 5.2.2 RTI 2022
- Cilindrata massima 125cm³.
- Raffreddamento ad acqua (basamento, cilindro e testata), un solo circuito. Il raffreddamento è limitato a un singolo radiatore libero, con solo uno circuito, senza altra combinazione; un circuito interno aggiuntivo per il normale funzionamento dei termostati è permesso.
- Valvola di scarico monotipo, disegno specifico della valvola n° 22 omologata con il motore.
- Sovralimentazione vietata
- Volume minimo della camera di combustione: 9 cm³, misurato come descritto nell'appendice 1c RTI 2022
- Candela: marca libera di grande produzione e deve rimanere rigorosamente di origine. La base della candela (elettrodi non inclusi) stretta sulla testata non deve superare la parte superiore del cupola della camera di combustione.
- Angolo di scarico limitato a 194 ° misurato come descritto nell'articolo 2.25.3.2 del RTI 2022
- Valvola di decompressione. Deve essere montata sulla testata
- Candela dimensioni - lunghezza: 18,5 mm M 14 x 1,25.
- Sistema di accensione con omologazione in corso di validità, con limitatore specifico a 16.000 RPM
- Carburatore a farfalla omologato Ø 24mm con due viti di regolazione. Tutte le dimensioni e la forma del canale di ingresso indicato sulla fiches di omologazione devono rimanere rigorosamente originale. Il condotto di ingresso deve anche essere conforme alla dima depositata dal costruttore. Tutti gli altri fori o scanalature non fissi situati all'interno al di fuori del corpo del carburatore deve essere identico, per il loro numero e la loro disposizione, alla fiches di omologazione. Nel caso di utilizzo di un carburatore di Ø24 mm classe KF2, questo deve rimanere rigorosamente originale.

Per dissipare ogni dubbio, questo significa che il carburatore deve essere esattamente lo stesso, nel limite di tolleranze di fabbricazione ragionevoli, a quello piombato dall'ispettore CIK FIA durante la procedura di omologazione e essere a disposizione della CIK-FIA, verificabile con dima depositata dal costruttore, per verificare il profilo e canale di ingresso.

- Frizione vietata.
- Starter proibito.
- Marmitta monotipo specifico, descritta nel disegno tecnico n. 21 RTI 2022 oppure Allegato 7 ACI SPORT
- Silenziatore di aspirazione con omologazione in corso di validità con 2 canotti Ø23 mm.
- Telai con omologazione FIA KARTING in corso di validità
- Freni con omologazione FIA KARTING in corso di validità
- Carrozzerie e Protezione Ruote Posteriori come da art. 4.14 ad art. 4.15
- Pneumatici: omologati "5 " PRIME.
- Massa minima totale: 145kg (Pilota incluso).

Massa minima del kart (senza carburante): 70 kg

## Art.10 – Regolamento Specifico Classe OK JUNIOR:

- Motore alternativo a 2 tempi a trasmissione diretta monocilindrico, omologato dalla FIA KARTING in corso di validità
- Tutte le modifiche dei motori omologati sono autorizzati ai sensi dell'art. 5.2.2 del RTI 2022
- Cilindrata massima 125cm³.
- Raffreddamento ad acqua (basamento, cilindro e testata), un solo circuito. Il raffreddamento è limitato a un singolo radiatore libero, con solo uno circuito, senza altra combinazione; un circuito interno aggiuntivo per il normale funzionamento dei termostati è permesso.
- Valvola di scarico vietata, sostituita dall'otturatore fisso o alloggiamento nel cilindro non lavorato.
- Sovralimentazione vietata
- Volume minimo della camera di combustione: 12cm³, misurati come descritto nell'appendice RTI 2022
- Candela: marca libera di grande produzione e deve rimanere rigorosamente di origine. La base della candela (elettrodi non inclusi) stretta sulla testata non deve superare la parte superiore del cupola della camera di combustione.
- Angolo di scarico limitato a 170°max misurato come descritto nell'articolo 2.25.3.2 del RTI 2022
- Valvola di decompressione. Deve essere montata sulla testata
- Candela dimensioni - lunghezza: 18,5 mm M 14 x 1,25.
- Sistema di accensione con omologazione in corso di validità, con limitatore specifico a 14.000 RPM
- Carburatore a farfalla omologato Ø 20mm con due viti di regolazione. Tutte le dimensioni e la forma del canale di ingresso indicato sulla fiches di omologazione devono rimanere rigorosamente originale.Il canale di ingresso deve anche essere conforme alla dima depositata dal costruttore. Tutti gli altri fori o scanalature non fissi situati all'interno al di fuori del corpo del carburatore deve essere identico, per il loro numero e la loro disposizione, alla fiches di omologazione. Nel caso di utilizzo di un carburatore di Ø20 mm classe KF3, deve rimanere rigorosamente originale. Per dissipare ogni dubbio, questo significa che il carburatore deve essere esattamente lo stesso, nel limite di tolleranze di fabbricazione ragionevoli, a quello piombato dall'ispettore FIA KARTING durante la procedura di omologazione e essere a disposizione della FIA Karting verificabbile con dima depositata dal costruttore, per verificare il profilo e canale di ingresso.
- Frizione Vietata.
- Starter proibito.
- Marmitta monotipo specifico, descritta nel disegno tecnico n. 23 RTI 2022/ Allegato 6 ACI SPORT
- Silenziatore di aspirazione con omologazione in corso di validità CIK-FIA 2019 con 2 canotti Ø23 mm.
- Telai con omologazione FIA KARTING in corso di validità
- Freni con omologazione FIA KARTING in corso di validità
- Carrozzerie si applica quanto disposto nel RTI 2022
- Protezione Ruote Posteriori si applica quanto disposto nel RTI 2022
- Pneumatici: 5 "di tipo **OPTION** omologati.
- Massa minima totale: 140kg (Pilota incluso).
- Massa minima del kart (senza carburante): 70 kg

## Art. 11 CLASSE KZ2 Regolamento Tecnico e Norme Specifiche.

### Art.11.1 Regolamento tecnico:

Solo l'ammissione lamellare è autorizzata.

I pezzi di origine del motore omologato devono sempre essere conformi e similari alle foto, disegni, materiale e grandezza fisica descritta nella fiches di omologazione.

**Modifiche autorizzate:**

**Tutte le modifiche del motore omologato, sono autorizzate salvo:**

**a) A l'interno del motore:**

- La corsa
- L'alesaggio (fino alla limitazione massima)
- L'interasse di biella

- Il numero dei canali di trasferta e luci di ammissione nel cilindro e nei carter motore.
- Il numero delle luci e del canale di scarico
- Le restrizioni secondo le norme specifiche.

**b) A l'esterno del motore:**

- Il numero dei carburatori, non sono considerate modifiche dall'esterno del motore, il cambiamento del colore dei pezzi, il taglio di connessioni di raffreddamento e modifica delle modalità di fissaggio (incluso ma non limitato agli attacchi del carburatore, accensione, scarico, frizione o motore stesso), a condizione che non cambino la loro posizione omologata.

## Art.12 – Regolamento Specifico classe KZ2:

- **Motore** monocilindrico ad ammissione lamellare, con omologazione FIA KARTING in corso di validità, raffreddato esclusivamente ad acqua (H2O) con un solo circuito, nel rispetto delle proprie schede di omologazione.
- **Carburatore** Dell'Orto tipo VHSH, Ø 30 mm. , in alluminio, di serie normale, originale di fabbrica, con diffusore "Venturi" Ø mm 30 max., verificabile con tampone passa/non passa 30,1mm max.
- Silenziatore di aspirazione, con omologazione FIA KARTING in corso di validità, con 2 canotti di entrata con Ø30 mm
- **Cambio di velocità** descritto nella rispettiva scheda di omologazione. Minimi 3 rapporti, massimo 6 rapporti. Comando del cambio meccanico manuale; Sono vietati tutti i sistemi di servo assistenza elettrica e non.
- **Marmitta,** descritta nella rispetiva scheda di omologazione del motore omologato, avente stesso numero di omologazione.
- **Telai,** con omologazione FIA KARTING in corso di validità
- **Freni**, con omologazione FIA KARTING in corso di validità
- **Accensione,** con omologazione FIA KARTING in corso di validità
- **Candela:** marca libera di grande produzione e deve rimanere rigorosamente di origine.
- La base della candela (elettrodi non inclusi) stretta sulla testata non deve superare la parte superiore del cupola della camera di combustione.
  Candela dimensioni - lunghezza: 18,5 mm M 14 x 1,25.
- **Volume minimo della camera di combustione:** 11cm³ misurati come descritto nel RTI 2022
- **Carrozzerie e Protezione ruote Posteriori,** Si applica quanto disposto nel RTI 2022
- **Pneumatici:**
  Larghezza:posteriori 215 mm.
  (pneumatico montato a pressione d'uso, verificabile con dima da 217 mm.)
  Larghezza: pneumatici anteriori: 135 mm.
  (pneumatico montato a pressione d'uso, verificabile con dima da 137 mm.).
- **Massa minima: 175kg**

## Art. 13 - CLASSE KZN UNDER – SENIOR

**Art. 13.1 – Motore:** Monocilindrico, di serie omologato o registrato CIK-FIA, cilindrata 125cm³ max

**CON ESCLUSIONE DEI SEGUENTI MODELLI descritti in questa tabella:**

| | | |
|---|---|---|
| MODENA Engine | KK2 | 032-EZ-45 Scadenza 31.12.2022 |
| IAME | Screamer 3 | 040-EZ-24 Scadenza 31.12.2022 |
| LKE | Black Rock | 033-EZ-75 Scadenza 31.12.2022 |
| TM | KZ-R1 | 041-EZ-75 Scadenza 31.12.2022 |
| VORTEX | RSZ | 012-EZ-76 Scadenza 31.12.2022 |
| VORTEX | RTZ | 012-EZ-25 Scadenza 31.12.2022 |

raffreddato esclusivamente ad acqua (H2O) con un solo circuito, ad ammissione lamellare o valvola rotante, nel rispetto della descrizione **art. 12.1 comma a** e **b**,**con le seguenti eccezioni:**

- **Cambio di velocità:** Descritta nella propria fiches del motore omologato.
- **Marmitta,** descritta nella rispetiva scheda di omologazione del motore omologato, avente stesso numero di omologazione.
- **Silenziatore di scarico:** Omologato FIA Karting in corso di validità. (vedi art. 4.13 comma a)
  **Silenziatore di aspirazione:** Con Omologazione FIA Karting, utlizzo come da art. 4.13 comma b con relativa tabella la quale descrive i modelli da utilizzare
- **Sistema di raffreddamento:** Acqua (H2O) solo ed esclusivamente.
- **Carburatore:**È ammesso il solo carburatore Dell'Orto "VHSH 30", in alluminio, di serie normale, originale di fabbrica, con diffusore "Venturi" Ø max mm. 30, verificabile con tampone "non passa" di mm. 30,1. Non è ammesso il sistema "power jet". Tutti i sistemi di sovralimentazione sono vietati.
- **Volume Camera di combustione** (Vedi Tabella, allegato 1)
- **Accensione:** Omologata, ad anticipo fisso.

**13.2 - Telai**
Sono ammessi telai omologati FIA Karting.
Tubi della scocca e accessori in **materiale magnetico** (canna sterzo, supporti per carrozzerie,fuselli, etc.), tutti i telai utilizzati ed i loro relativi accessori devono essere conformi alle disposizioni relative al periodo di omologazione cui si riferiscono.

**13.3- Assale:** forato, diametro 40 mm. (spessore minimo 2,9 mm) o diametro 50 mm (spessore minimo 1,9 mm.). Assale in materiale magnetico.

**13.4 - Ruote e pneumatici: 5" (pollici)**, larghezza massima con pneumatici gonfiati a pressione d'uso:
- anteriore: 135mm (verificabile con dima 137mm);
- posteriore: 215mm (verificabile con dima 217mm).

**13.5 – Carrozzerie:**
Si applica quanto disposto dai precedenti art.li **4.14 / 4.14.1/ 4.14.2 /4.14.3 / Allegato 1 / comma A-B-C-D-E-F**

**13.6 – Protezione Ruote Posteriori:** Si applica quanto descritto nell'art. 4.15

**13.7 – Massa minima complessiva: KZN Under 178kg – KZN Senior 180kg**

## Art. 14 - MINI Gr.3 FIA Karting

### Art. 14.1 Prescrizioni Generali per Classe MINI Gr.3 FIA Karting

### Art. 14.2 Telaio
Tutti i telai MINI Gr.3 Omologati dalla FIA KARTING.
Devono essere descritti dal Costruttore in un catalogo, ed avere un documento descrittivo chiamato "Fiches di omologazione" approvata dalla ASN e dalla FIA KARTING.
Il telaio deve soddisfare le seguenti specifiche:
Numero di tubi: 6, **vietato usare barre di irrigidimento**.
Dimensioni del tubo del telaio: Ø 28 x 1,9 minimo, in **acciaio magnetico**.
Cuscinetti dell'assale posteriore: massimo 2.
Supporti sedile: 4, fissi e saldati al telaio, in acciaio magnetico.
Le modifiche al telaio (ad es. Posizione dei tubi e delle curve) sono consentite solo in conformità con le dimensioni descritte nella Fiches di Omologazione e se le curve vengono spostate, devono essere presenti solo sul tubo cui si trovavano all'omologazione.

### Art. 14.3 Accensione
L'accensione deve essere **Omologata** FIA KARTING in corso di validità
Il sistema di accensione deve essere indipendente, senza collegamento al sistema di avviamento (batteria).
Il sistema di fissaggio dello statore e il diametro di montaggio del rotore sono unici per tutti, vedere il disegno tecnico FIA Karting n° 27.
Le dimensioni del sistema (statore e rotore) e le sue caratteristiche devono essere indicate nel modulo di omologazione.

### Art. 14.4 Carburatore
Il carburatore deve essere omologato dalla FIA Karting MINI Gr. 3
Deve essere un carburatore a vaschetta, con un diffusore venturi Ø di 18 mm massimo

### Art. 14.5 Silenziatore di aspirazione
Il silenziatore di aspirazione deve essere Omologato dalla FIA Karting.
Deve essere costituito da un singolo canotto. Questo canotto deve essere cilindrico con un diametro interno massimo di 23 mm.

**Art. 14.6** Carrozzerie Omologazione FIA Karting MINI Gr.3

**Art. 14.7** Freni Omologazione FIA Karting MINI Gr.3

**Art. 14.8** Protezione Ruote Posteriori Omologazione FIA Karting MINI Gr.3

### Art. 14.9 Motore
Tutti i motori MINI Gr. 3 saranno Omologati dalla FIA Karting.
Devono essere descritti dal costruttore in un catalogo ed avere un documento descrittivo,
"Fiches di Omologazione" approvata dalla ASN, secondo il modello stabilito dalla FIA Karting.
I motori saranno approvati ogni tre anni, con una validità di tre anni.
Sono ammessi solo motori Piston Port.

L'identificazione del motore e dei suoi componenti è possibile grazie alle descrizioni tecniche (marchi, foto, disegni dimensionali, ecc.) contenuti nella Fiches di Omologazione.
Le parti originali del motore omologato devono rimanere originali ed essere identificabili mediante i marchi, le fotografie, i disegni, i materiali e le dimensioni descritte dal costruttore
nella Fiches di omologazione.
Il Costruttore del motore deve fornire DIME e Modelli per il controllo delle parti del motore.
**• Dima per controllare le dimensioni delle luci di aspirazione, trasferimento e scarico.**
**• Dima per controllare tutte le variabili della forma e delle dimensioni del piede del cilindro.**
**• Dima per controllare la forma del pistone.**
**• Dima per controllare la distanza minima del carburatore dall'asse del cilindro.**
Modifiche autorizzate: Hélicoil.
È vietata l'aggiunta di materiale.
È vietato qualsiasi intervento sull'alloggiamento del cilindro, sulla camicia e/o sul pistone che consenta un flusso della miscela attraverso il cilindro e/o verso la base quando il bordo inferiore del pistone ha chiuso l'apertura di aspirazione.
È vietato qualsiasi dispositivo o artificio in grado di modificare gli angoli delle luci regolate o aumentare direttamente o indirettamente il ciclo di aspirazione, scarico e travasi. **Descrizione precedente art.4.20.3**

## Art. 15 Regolamento Specifico MINI Gr.3 FIA Karting

* Motore monocilindrico alternativo a 2 tempi Piston Port a trasmissione diretta, omologato dalla FIA KARTING.
  Tutte le modifiche ai motori omologati sono autorizzate conformemente all'art. 6.2 delle Prescrizioni Generali del Regolamento tecnico.
* Cilindrata massima: 60 cm3
* Raffreddamento ad aria (Carter, Cilindro e Testata).
* Volume minimo della camera di combustione di 4,8 $cm^3$, misurato secondo il metodo descritto nell'allegato 2 del Regolamento Tecnico ACI SPORT 2020.
* La forma della camera di combustione e la banda di Squish, devono essere identiche al disegno tecnico n ° 25 della FIA KARTING,verificabile utilizzando la DIMA fornita dalla FIA KARTING.
* Dimensioni della candela Filetto lunghezza: 18,5 mm; passo: M 14 x 1,25.
* Candela: marca libera,di grande produzione e che deve rimanere rigorosamente originale.
  La base della candela (elettrodi non inclusi) serrata sulla testata non deve superare la parte superiore della cupola della camera di combustione.
* L'angolo di apertura della luce di aspirazione deve essere pari a 144 ° (+ 0 / -2 °). La larghezza della luce di aspirazione deve essere di 26 mm (+ 0,1 / -0,2 mm).
  La larghezza della luce di aspirazione deve rimanere come definita dal Costruttore e verificabile utilizzando la Dima fornita dal Costruttore.
* L'angolo di apertura della luce di Trasferta (TRAVASI) deve essere limitato a 117 ° max
  L'angolo di apertura deve rimanere come definito dal produttore con una tolleranza di + 0 ° / -2 ° I Travasi devono essere rettangolari con raggio (r) di 2 mm.
  Il bordo superiore del Travaso e quindi il bordo inferiore, devono essere perpendicolari all'asse del cilindro.
  La larghezza del Travaso deve essere dichiarata dal produttore con una tolleranza di + 0,4 / - 0,2 mm. La dimensione dei Travasi deve rimanere come definita dal Costruttore, verificabile utilizzando la Dima fornita dal Costruttore.
* L'angolo di apertura della luce di scarico deve essere uguale a 156 ° con una tolleranza di + 0 / -2 ° La larghezza della luce di scarico deve essere di 28,0 mm con una tolleranza di + 0,1 / -0,2 mm.
  La larghezza della luce di scarico deve rimanere come definita dal Costruttore, verificabile utilizzando la Dima fornita dal Costruttore.
* È possibile utilizzare un distanziale tra Cilindro lato Scarico e il collettore di scarico. Deve avere uno spessore massimo di 10 mm. Le dimensioni del passaggio di scarico devono essere identiche al collettore di scarico presente nella Fiches di Omologazione del motore.
* Frizione è obbligatoria. Deve essere centrifuga a secco.
  La frizione deve iniziare l'attacco o primo trascinamento a 3500 rpm min
  La Campana della frizione e i materiali di attrito devono essere materiali lisci senza fori o scanalature. Dimensioni della frizione secondo il disegno tecnico n. 26.
  Massa minima della frizione assemblata
  (corona dentata, mozzo frizione e campna della frizionecon pignone) e Mozzo frizione secondo la Fiches di Omologazione del motore.

Il pignone deve avere 10 o 11 denti. La corona è libera.

* Obbligatorio Motorino di Avviamento, deve essere alimentato da una batteria esclusivamente dedicata. La corona dentata di avviamento deve essere montata sul lato frizione. Sono vietati materiali esotici e nobili. Il motore deve essere dotato di un interruttore di arresto efficace e sicuro. La batteria deve essere collegata saldamente contenitore solidamente fissato al telaio con viti. La batteria non deve in alcun modo interferire con l'accensione.
* Sistema di accensione Omologata dalla FIA KARTING, con limitatore specifico ad un massimo di 14.000 giri / min. (Centralina colore ROSSO)
* Carburatore a Vaschetta omologato dalla FIA KARTING, con diffusore venturi e Ø massimo di 18 mm. Deve rimanere rigorosamente originale. Per dissipare ogni dubbio, questo significa che il carburatore deve essere identico sotto tutti gli aspetti, entro i limiti delle tolleranze di fabbricazione ragionevoli, e alla Fiches omologazione. È vietato ogni tipo di trattamento, aggraffatura, lucidatura, aggiunta o rimozione di materiale.

Il carburatore deve essere verificabile utilizzando un tampone Passa/non Passa fornito dal Costruttore del carburatore.

Pompa Benzina e ghiera per fissaggio del Silenziatore di Aspirazione al Carburatore fornito dal Costruttore del Carburatore e descritta nella Fiches di omologazione.

* Silenziatore di aspirazione omologato approvato con 1 solo canotto da 23 mm.
* Scarico monotipo specifico che deve corrispondere al disegno allegato 5

**Eventuali Marcature delle stesse, solo dai COSTRUTTORI dei motori Omologati.**

* Cerchio monoblocco, realizzato esclusivamente in alluminio o magnesio.
* Pneumatici: 5" Omologati FIAKARTING
* Massa Complessiva minima: 110 kg (Pilota incluso).
* Massa minima del kart (senza carburante): 55 kg.

# Allegato 2 – RDS Regolamento Tecnico KARTING;

## 1.1 PROCEDURA PER IL CONTROLLO DEL VOLUME DELLA CAMERA DI COMBUSTIONE;

1. Fare smontare il motore dal telaio;
2. attendere che il motore sia a temperatura ambiente (obbligo per l'organizzatore di fornire appositi ventilatori di raffreddamento);
3. fare smontare la testata per verificare la sporgenza della candela all'interno della cupola della camera di combustione;
4. fare smontare la candela (verificare la quota di 18,5 mm.);
5. avvitare l'inserto al posto della candela (l'inserto stretto sulla testata non dovrà oltrepassare la parte superiore della camera di combustione. Esso dovrà essere fissato sulla testata nell' identico modo della candela di 18,5 mm.);
6. rendere stagna con l'aiuto di grasso la parte superiore del pistone e la periferica del cilindro
7. mettere il pistone al punto morto superiore e bloccare l'albero motore;
8. asciugare accuratamente l'eccedenza di grasso;
9. assicurarsi che il motore sia in piano;
10. fare rimontare la testata e stringerla alla coppia di serraggio fissata dal costruttore;
11. con una buretta di laboratorio con scala graduata (meccanica di grado A o elettronica) riempire la camera di combustione con **OLIO tipo: "ATF DEXRON" VI (6) di colore ROSSO**, fino a quando il liquido rasenta il bordo superiore dell'inserto il volume allora misurato deve essere quello stabilito dal RDS e descritto nella tabella seguente, della classe interessata:

## 1.2 METODO ALTERNATIVO:

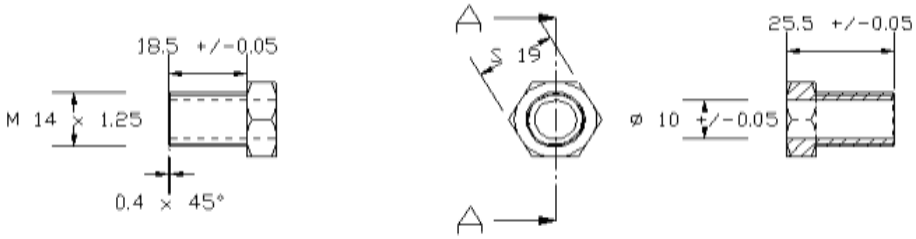
1. Fare smontare il motore dal telaio;
2. Attendere che il motore sia a temperatura ambiente (obbligo per l'organizzatore di fornire appositi ventilatori di raffreddamento);
3. fare smontare la candela (verificare la quota di 18,5mm)
4. avvitare l'inserto al posto della candela, l'inserto dovrà essere fissato sulla testata nell' identico modo della candela di 18,5 mm.
5. mettere il pistone al punto morto superiore
6. assicurarsi che il motore sia in piano
7. con una buretta di laboratorio con scala graduata (meccanica di grado A o elettronica) riempire la camera di combustione con **OLIO tipo: "ATF DEXRON" VI (6) di colore ROSSO**, fino a quando il liquido rasenta il bordo superiore dell'inserto;
8. il volume allora misurato deve essere quello stabilito dal RDS e descritto nella tabella seguente della classe interessata:
9. In caso di discordanza del valore misurato, la procedura deve essere rieseguita secondo la procedura di cui al **punto 1.1**

**Tabella del valore minimo del volume camera di combustione, delle classi qui di seguito descritte**

| Classe | Volume della camera di combustione | |
|---|---|---|
| 60 cc. Mini Kart - Entry Level- MINI | 4,8cm³. + inserto 2 cm³ | **6,8** cm³ **Min.** |
| OKJ | 12cm³ + inserto 2 cm³ | **14** cm³ **Min.** |

| | | |
|---|---|---|
| OK | 9 cm³ + inserto 2 cm³ | **11** cm³ **Min.** |
| KZ2 | 11 cm³ + inserto 2 cm³ | **13** cm³ **Min.** |
| **KZN Under -Senior** | 11 cm³ + inserto 2 cm³ | **13** cm³ **Min.** |

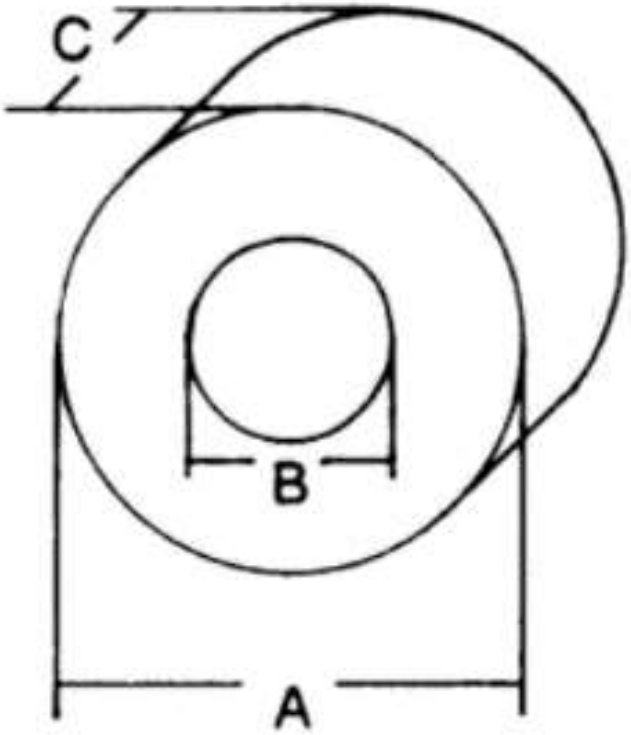
**Dimensioni Inserto**




Volume Inserto = pi x 1 x 2.55 / 4 = 2 cm3/cc

# Allegato 3

CARATTERISTICHE TECNICHE DELLA “CALAMITA” DA USARE PER VERIFICARE I PARTICOLARI MAGNETICI



# Allegato 4

Sistema di alimentazione classe Mini Kart e ENTRY LEVEL – **MINI Gr. 3 CIK-FIA**
(serbatoio carburante, pompa di alimentazione, carburatore, motore)

## Classe MINIKART & ENTRY LEVEL

Allegato 1

Possibilità utilizzo 1 solo filtro benzina, solo ed esclusivamente nel tratto che và da serbatoio a pompa benzina.

Carburatore

**Pompa di alimentazione carburante di tipo pneumatico.**
**DELL'ORTO P34 PB2**
Caratteristiche Tecniche Principali
Montaggio mediante viti e appositi punti di fissaggio. Pompaggio mediante membrana. Regolatore interno a by-pass. Frequenza di funzionamento: 10.000 impulsi/min. Funzionamento mediante variazione di pressione. Portata nominale: ~ 55 l/h. Pressione nominale: 0,05-0,1 bar. Pre[illegible] segg[illegible] pneumatici d[illegible] o a dist[illegible]za. [illegible] pla[illegible] Valvole del tipo a "ombrello" e sed[illegible] ricavate nel corpo. Peso: 100 gr.

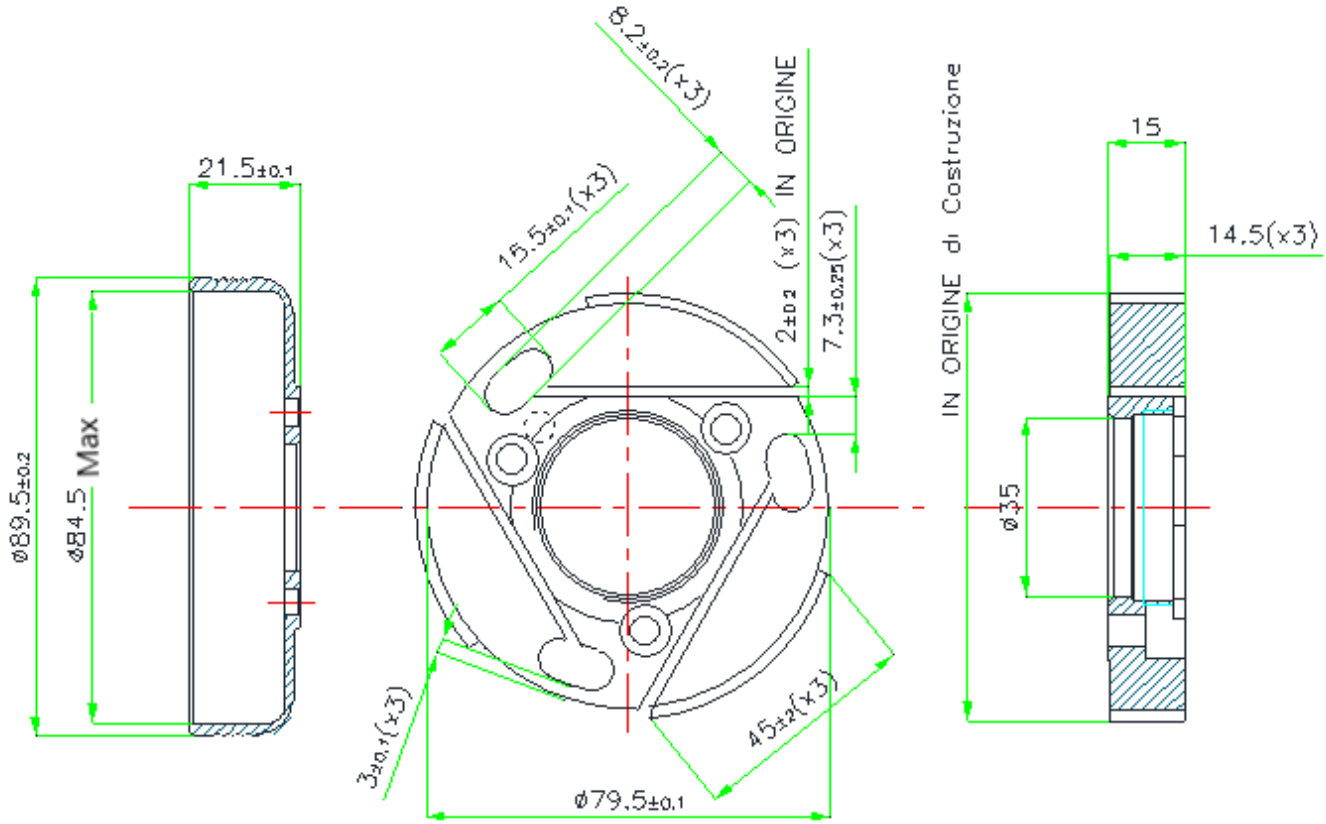
Serbatoio Carburante

FAC-SIMILE

# Allegato 5

**FRIZIONE:**

**<u>Motori 60cc</u> Minikart – Entry Level – MINI Gr. 3 CIK-FIA**




# Peso 345g ± 15g

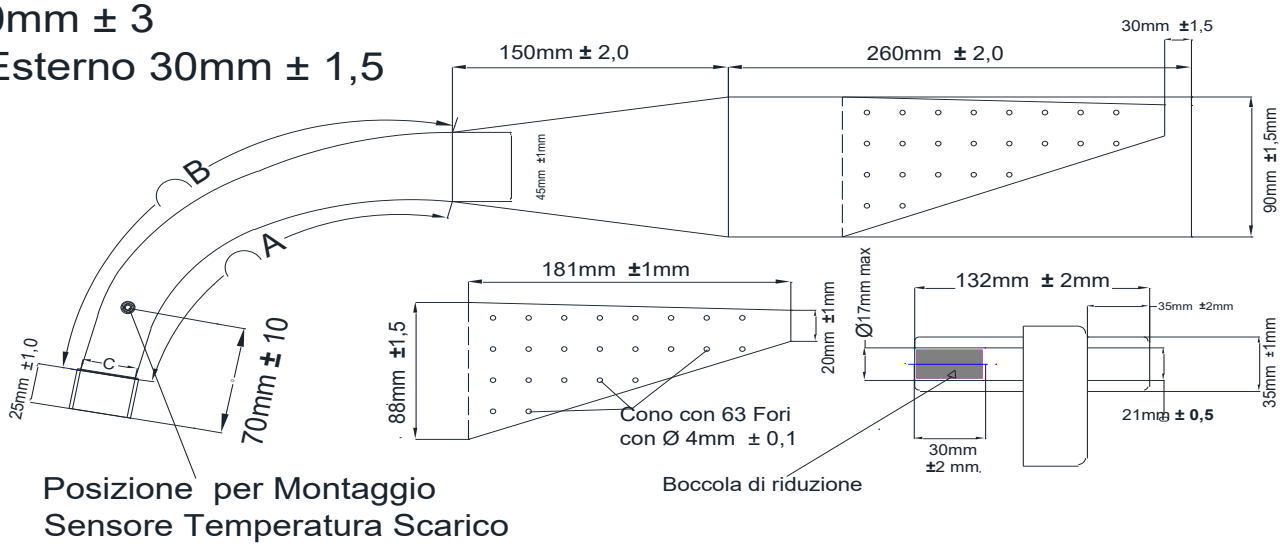
## Allegato 6

# MARMITTA
# MINIKART - ENTRY LEVEL

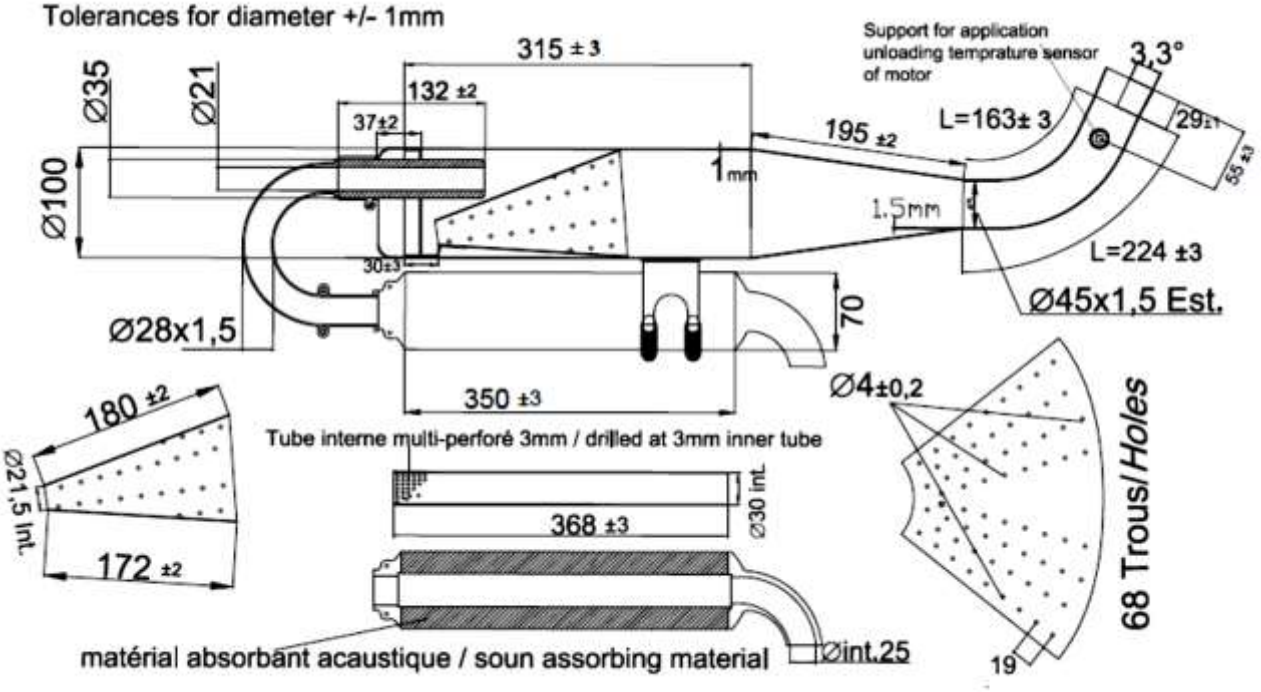
MINI GR.3

Quote e Dimensioni in mm
Spessore Minimo della lamiera 0,80mm,
il primo pezzo della marmitta evidenziato con le quote,A - B
dovrà essere costruito in due curve stampate e saldate ai lati.

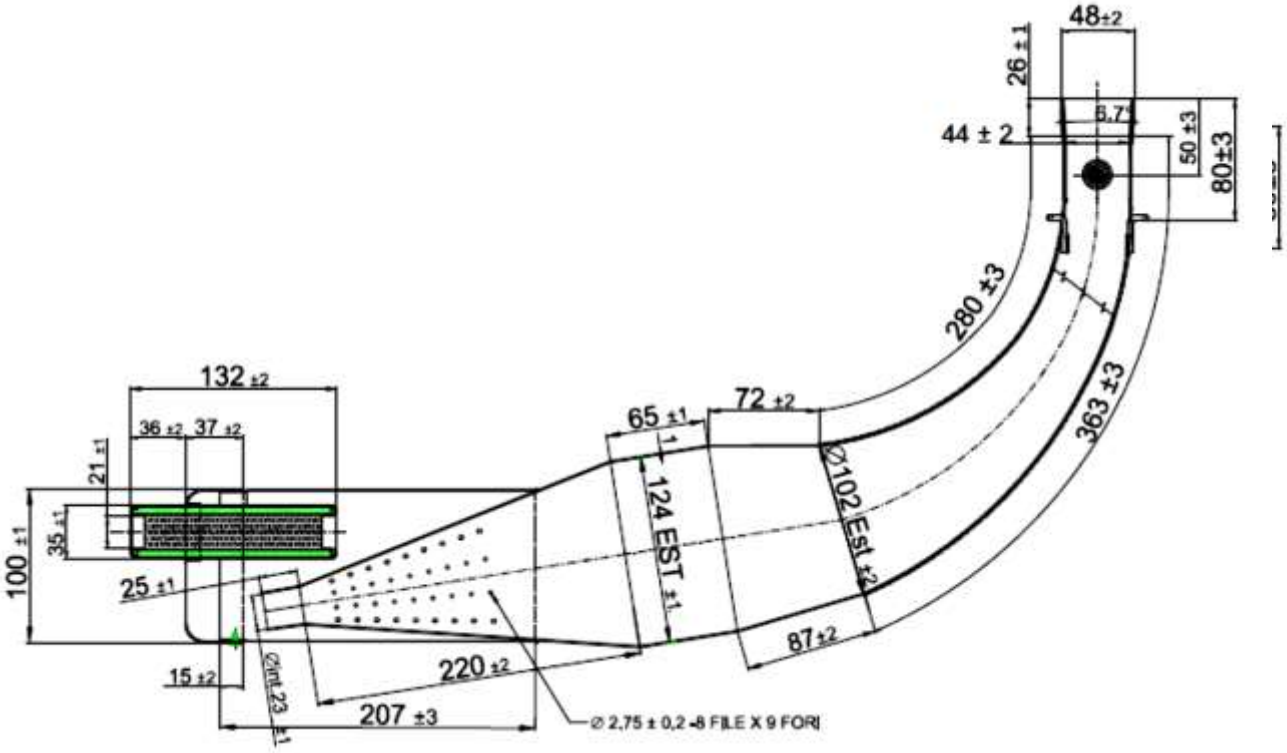
A = 190mm ± 3
B = 240mm ± 3
C = Ø Esterno 30mm ± 1,5




## Allegato 7
## Marmitta Classe OKJ



# Allegato 8 – Marmitta OK



# Allegato 9a

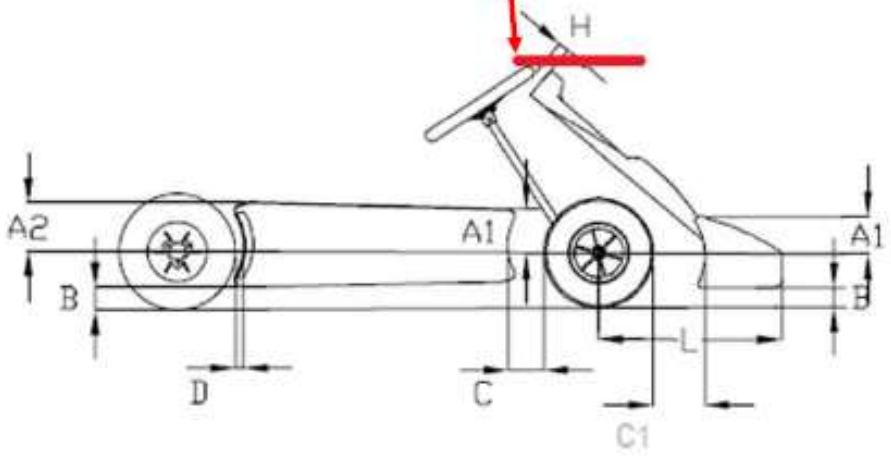
## Disegno tecnico – Dimensioni Carrozzerie

**Tutte le classi esclusa la Minikart e Entry Level** MINI Gr. 3

**FAC-SIMILE**

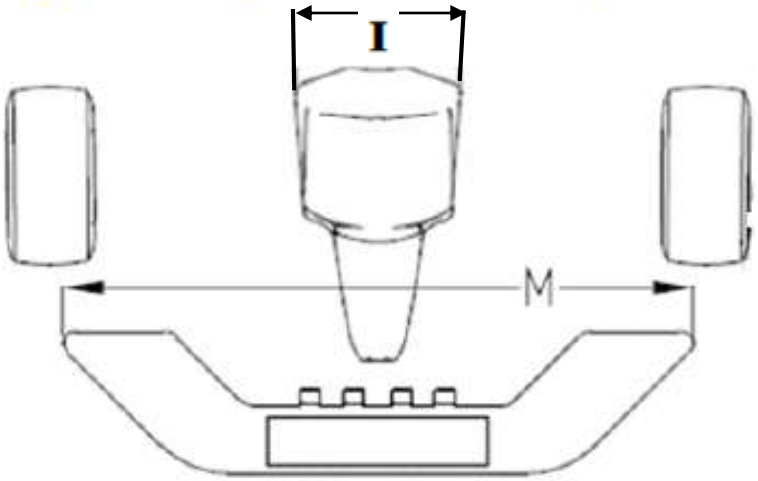
**Altezza Pannello frontale (porta numero)**

Non deve superare il piano orizzontale della parte superiore del volante




**Dimensioni in mm**

A1) Inferiore al raggio della ruota ant. A2) Inferiore al raggio della ruota post.
B) 25min/60max C)150 max C1) 80 max D) 60max H) 50min
I) 250min/300max L) 680max M) 1000 min /max quanto previsto per la carreggiata max



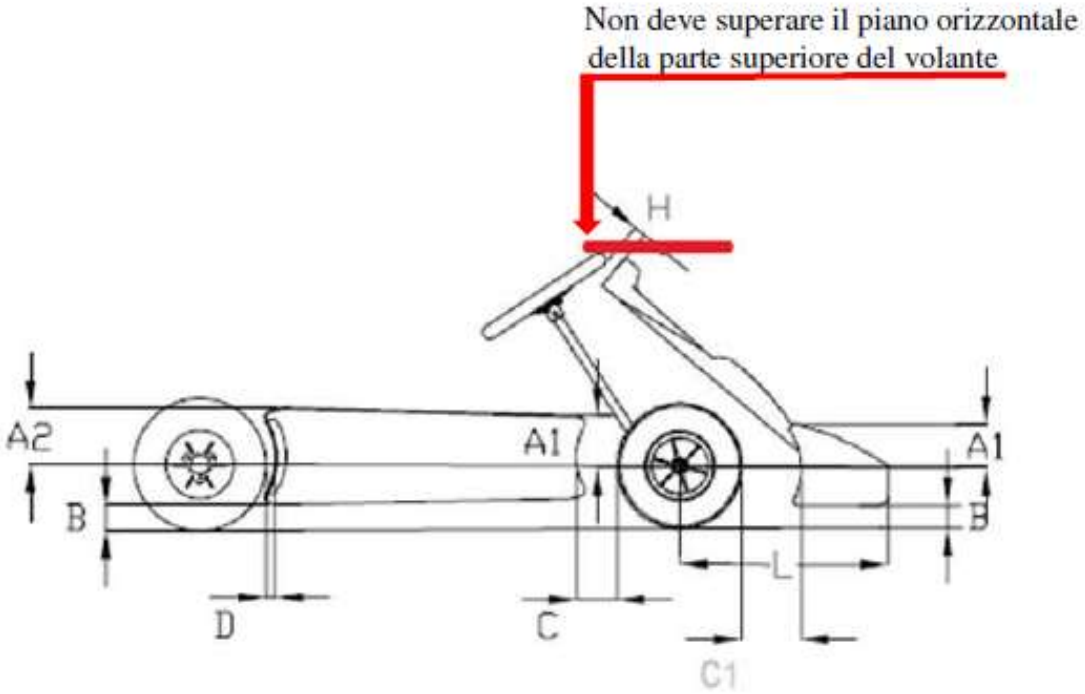
# Allegato 9b

Disegno tecnico – Dimensioni Carrozzerie

**Minikart e Entry Level** MINI Gr. 3

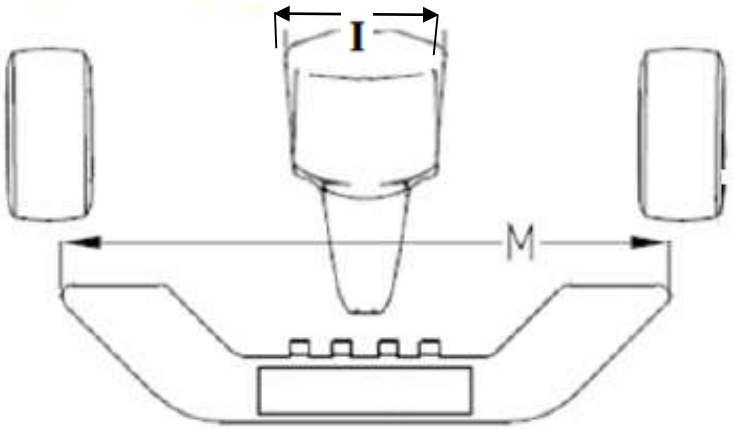
**FAC-SIMILE**

**Altezza Pannello frontale (porta numero)**




**Dimensioni in mm**

A1) Inferiore al raggio della ruota ant. A2) Inferiore al raggio della ruota post.
B) 25min/60max C)130 max C1) 160 max D) 60 max H) 50min
I) 200min/300max L) 630max M) 850min /max quanto previsto per la carreggiata max



**Allegato 10**

# SPECIFICHE DEL CARBURANTE

| **Propriétés** *Property* | **Unités** *Units* | **Minimum** *Minimum* | **Maximum** *Maximum* | **Méthodes** *Test Methods* |
|---|---|---|---|---|
| RON | | 95.0 | 102.0 | ASTM D 2699-86 |
| MON | | 85.0 | 90.0 | ASTM D 2700-86 |
| Oxygène/*Oxygen* | %m/m | | 2.7 | ASTM D4815 |
| Analyse Elémentaire *Elemental Analysis* | | | | |
| Azote/*Nitrogen* | %m/m | | 0.2 | ASTM D 3228 |
| Benzène/*Benzene* | %v/v | | 1.0 | EN 238 |
| TVR/*RVP* | Kpa | | 90 | ASTM D 323 |
| Plomb/*Lead* | g/l | | 0.005 | ASTM D 3237 |
| Densité/*Density* (15°C) | kg/m³ | 720 | 780.0 | ASTM D 4052 |
| Stabilité à l'Oxydation *Oxidation stability* | minutes | 360 | | ASTM D 525 |
| Gommes actuelles *Existant gum* | mg/100ml | | 5 | EN 26246 |
| Soufre/*Sulphur* | mg/Kg | | 150 | EN-ISO/DIS 14596 |
| Distillation | | | | |
| A/*at* 70°C %v/v | | 10.0 | 50.0 | ISO 3405 |
| A/*at* 100°C | %v/v | 30.0 | 71.0 | ISO 3405 |
| A/*at* 150°C | %v/v | 75.0 | | ISO 3405 |
| Point Final °C *Final Boiling Point* | | | 215.0 | ISO 3405 |
| Résidu/*Residue* | %v/v | | 2.0 | ISO 3405 |
| Composition | | | | |
| Aromatiques *Aromatics* | %v/v | | 35.0* | Chromat. gazeuse *Gas Chromat.* |
| Oléfines *Olefins* | %v/v | | 18.0* | Chromat. gazeuse *Gas Chromat.* |
| Total de di-oléfines *Total di-olefins* | %m/m | | 1.0* | GCMS |

*Valori corretti per il contenuto di ossigeno del carburante

Allegato 11

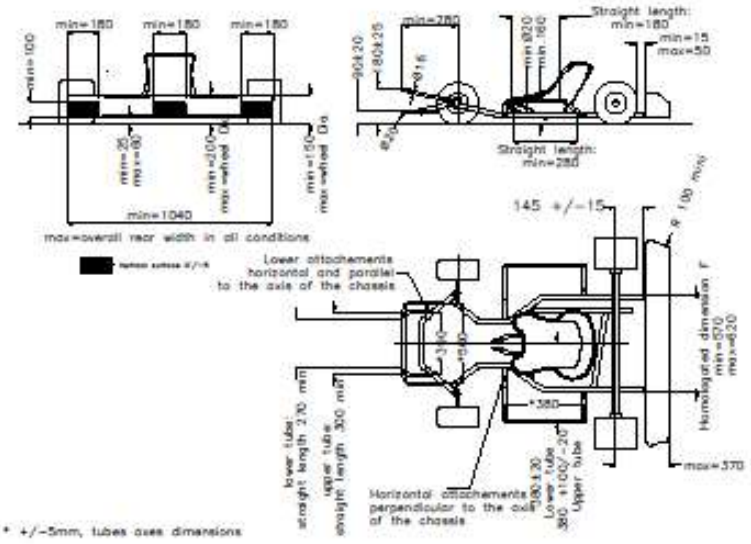
FAC-SIMILE

FAC-SIMILE

## Disegno Tecnico Supporti e Dimensioni Minikart – Entry Level e MINI Gr.3

**DESSIN TECHNIQUE N°24a** — **TECHNICAL DRAWING No. 24a**

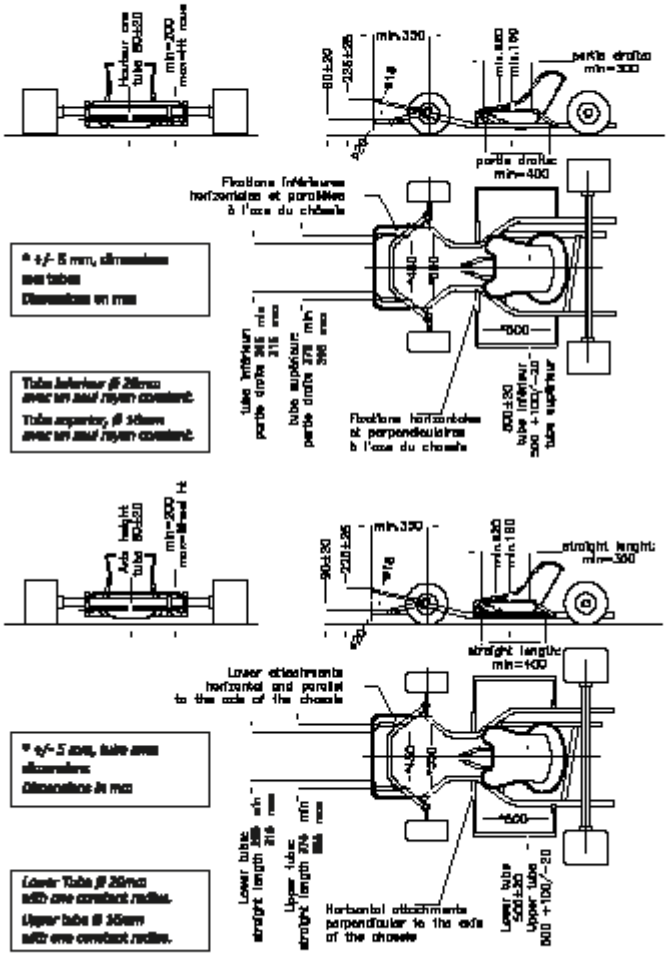
**Pare-chocs (Mini)** — **Bumpers (Mini)**




## Disegno Tecnico Supporti Gr.1 e Gr. 2

**DESSIN TECHNIQUE N°2a** — **TECHNICAL DRAWING No. 2a**

**Pare-chocs pour circuits courts** — **Bumpers for short circuits**




396