



UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI TORINO

DIPARTIMENTO DI ECONOMIA E STATISTICA

"COGNETTI DE MARTIS"

**CORSO DI LAUREA IN ECONOMIA E STATISTICA PER LE
ORGANIZZAZIONI**

TESI DI LAUREA TRIENNALE

**"LA PERFORMANCE DELLE MONOPOSTO DI
FORMULA-E CONDIZIONATA DALLA VARIAZIONE
DELLA TEMPERATURA ATMOSFERICA"**

Relatore: Alessandra Canepa

Candidato: Artuso Lorenzo

Correlatore: Gianluca Rosso

Correlatore: Luca Malfatti

Insegnamento: Metodi quantitativi per l'economia

Matricola: 855303

ANNO ACCADEMICO: 2019-2020

SESSIONE DI LAUREA SETTEMBRE 2020

INDICE

1. INTRODUZIONE.....	2
2. FORMULA-E	4
3. TEMPERATURA E PERFORMANCE	7
4. LE TRE GARE PIU’SIGNIFICATIVE.....	10
4.1 MARRAKECH.....	11
4.2 PARIGI.....	15
4.3 SANTIAGO.....	19
5. ANALISI VARIAZIONE CARICA BATTERIE.....	22
5.1 GARA DI MARRAKECH.....	23
5.1.1 VISIONE SULLE POSIZIONI E I RELATIVI GRAFICI.....	24
5.1.2 DECRESCITA DI CARICA DELLE BATTERIE.....	25
5.1.3 CONFRONTO TEMPERATURA E CARICA DELLA BATTERIA	27
5.2 GARA DI PARIGI.....	28
5.2.1 VISIONE SULLE POSIZIONI E I RELATIVI GRAFICI.....	29
5.2.2 DECRESCITA DI CARICA DELLE BATTERIE.....	30
5.2.3 CONFRONTO TEMPERATURA E CARICA DELLA BATTERIA	32
5.3 GARA DI SANTIAGO.....	33
5.3.1 VISIONE SULLE POSIZIONI E I RELATIVI GRAFICI.....	34
5.3.2 DECRESCITA DI CARICA DELLE BATTERIE.....	35
5.3.3 CONFRONTO TEMPERATURA E CARICA DELLA BATTERIA	36
6. LE VELOCITA’ DI PUNTA RELAZIONATE CON LE GARE PIU’ CALDE E CON L’INGRESSO DELLA SAFETY CAR O CONDIZIONI DI BANDIERA GIALLA	37
6.1 GARA DI MARRAKECH.....	37
6.2 GARA DI SANTIAGO.....	39
6.3 GARA DI NEW YORK (2).....	41
6.4 GARA DI SANYA	43
CONCLUSIONI	45
BIBLIOGRAFIA	47
ELENCO TABELLE	48
ELENCO GRAFICI.....	49
RINGRAZIAMENTI.....	50

1. INTRODUZIONE

L'obiettivo dello studio è quello di condurre un'analisi al fine di individuare e dimostrare se esistono eventuali relazioni tra la performance delle monoposto condizionata dalla variazione di temperatura atmosferica e quindi misurabile direttamente attraverso la velocità e i tempi sul giro.

Durante la raccolta, l'elaborazione e lo studio dei dati ci si è soffermati in particolar modo sul cambiamento della temperatura durante le competizioni, sulle velocità registrate giro per giro e raccolte nel database ufficiale di Formula-E e allo stesso modo si sono svolti i calcoli per quanto riguarda i tempi sul giro.

Un'ulteriore analisi svolta riguarda la variazione della percentuale di carica delle batterie nel corso della gara al fine di trovare una possibile relazione con la variazione della temperatura atmosferica.

Nel capitolo conclusivo è stato svolto uno studio finale in cui sono state messe in relazione le velocità di punta registrate nelle gare più calde con l'ingresso della Safety Car o la presenza di condizioni di bandiera gialla.

Il lavoro svolto può essere una base per un concreto studio ad uso delle scuderie e applicabile alla stagione corrente e future, per miglioramenti delle monoposto, delle strategie di gara e dell'approccio ad ogni singolo circuito.

L'elaborato si apre con una descrizione della Formula-E, come si svolge questa competizione automobilistica, quando è nata e come si compongono le varie scuderie, per arrivare alla descrizione della raccolta dei dati, dei calcoli, delle tabelle e la formulazione dei relativi grafici.

Nella parte centrale della tesi è stata svolta una analisi più generale riguardante la temperatura e la performance, il tutto collegato ed unito da grafici.

In un capitolo successivo questa analisi è inoltre ampliata partendo dalle gare più anomale (Parigi e Santiago) poiché sono rispettivamente la gara più fredda e quella più calda del campionato con la gara intermedia di Marrakech, poiché la sua temperatura media è stata di 20°C ovvero la temperatura ottimale per disputare una gara di Formula-E.

Successivamente viene svolta un'analisi riguardante la diminuzione della percentuale di carica delle batterie durante tutto l'arco della gara al fine scovare un'eventuale relazione con la variazione della temperatura atmosferica nella gara stessa.

Nella parte conclusiva vengono utilizzati i dati trattati nei capitoli precedenti, i grafici, gli studi svolti ed uniti a condizioni di gara particolari come la presenza della Safety Car e condizione di bandiera gialla, al fine di scovare una vera e propria relazione tra performance e temperatura.

2. FORMULA-E

Il campionato di Formula-E è una competizione mondiale che si svolge ormai da 5 edizioni a partire dal 2014 e sono utilizzate come vetture delle monoposto spinte totalmente da motori elettrici. Lo scopo di questo campionato automobilistico è quello di promuovere la diffusione di vetture alimentate con batterie e allo stesso tempo lo sviluppo di tecnologie improntate su zero emissioni oltre che un aspetto di spettacolo ed intrattenimento.

Le gare di Formula-E¹ si svolgono quasi esclusivamente su circuiti urbani, a differenza di altre competizioni, e l'obiettivo è di portare questa competizione nelle strade delle più grandi città mondiali.

In questo elaborato è stata analizzata la stagione 2018-2019 che ha visto la partecipazione di 11 scuderie con 2 piloti ciascuna attraverso 13 circuiti mondiali.

Il detentore del titolo è Jean Eric Vergne, ex pilota di F1 già vincente anche nella stagione precedente, mentre è necessario sottolineare come la competizione tra i vari piloti e tra le varie scuderie sia molto omogenea a differenza di altre competizioni. Tutto ciò è giustificato dal fatto che la scocca, le batterie, le gomme, l'avantreno sono uguali per tutte le scuderie, quindi a fare la differenza sarà in particolar modo il pilota, la sua strategia di gara attraverso l'utilizzo degli Attack Mode² e un intelligente utilizzo delle batterie per poter concludere la gara e tagliare il traguardo.

Durante una gara le variabili sono molteplici, a partire dalle condizioni del tracciato, alla strategia, agli incidenti, agli eventi atmosferici improvvisi, alla presenza di particolari condizioni di gara come il regime di bandiera gialla. Nonostante la presenza sia di fattori comuni che variabili è comunque determinante la condizione psicologica del pilota.

La potenza massima utilizzabile durante le gare è di 200 kW³ (escluso Attack Mode), la batteria delle monoposto ha un peso di 300 kg, le celle al suo interno sono agli ioni di litio e

¹ I dati teorici sono stati presi dal sito: (https://it.wikipedia.org/wiki/Formula_E)

² L'Attack Mode è l'aggiunta di 50 kW di potenza extra al pacco batterie per una durata complessiva di 4 minuti. Durante tutto l'arco della gara un pilota ha a disposizione 2 Attack Mode quindi un totale di 8 minuti di surplus di potenza.

Per l'attivazione degli Attack Mode c'è un punto specifico del tracciato (fuori dalla traiettoria), che crea immediatamente uno svantaggio poiché non si percorre più la traiettoria ottimale del tracciato ma verrà tutto recuperato durante i 4 minuti di potenza extra.

³ Dati: <https://it.dplay.com/motor-trend/l-impero-delle-macchine/stagione-3-episodio-6-la-supercar/>

appena la temperatura arriva a 70 °C si surriscalda perciò sono fondamentali 2 radiatori che pompino il liquido di raffreddamento verso il motore e la batteria. Questo specifico problema del surriscaldamento di sarà trattato successivamente nei capitoli. La batteria insieme alla Power Unit⁴ riescono a sprigionare fino a 335 cavalli di potenza.

Le gare hanno una durata di 45 minuti più un giro finale, a differenza di altre competizioni automobilistiche la partenza avviene senza un warm up lap⁵ per scaldare i motori e soprattutto le gomme, inoltre non sono previsti pit stop⁶ per un cambio gomme, l'unica possibilità di tornare ai box è per sostituire alcune parti della scocca in carbonio se sono state danneggiate e tornare immediatamente in pista per continuare a svolgere la gara.

Queste caratteristiche di non poter cambiare le gomme o le batterie o addirittura la monoposto per salire su una seconda, tutte particolarità delle stagioni precedenti, non sono più possibili in questa stagione esaminata e questo fa sì che nell'elaborato di tesi non ci siano mai riferimenti a dati, avvenimenti di stagioni passate, poiché i cambiamenti di stagione in stagione sono stati abissali e quindi non paragonabili.

Il campionato si conclude al termine delle 13 gare e il titolo piloti è assegnato al pilota che ha totalizzato il maggior numero di punti durante la stagione mentre il titolo costruttori viene assegnato al team che ha fatto più punti (è la somma dei punti dei due piloti della stessa scuderia).

⁴ Power Unit: rappresenta la componente meccanica che genera forza motrice alla monoposto

⁵ Il warm up lap è un giro di ricognizione che è tipico effettuare in sport motoristici dove si scaldano il motore e le gomme prima della partenza. Nella Formula-E non viene svolto anche perché le vetture non avendo un motore a combustione non c'è la necessità di percorrere questo giro aggiuntivo e inoltre le gomme hanno una miscela per tutte le condizioni quindi anche esse non hanno necessità di essere portate in temperatura.

⁶ Il pit stop consiste nel rientro ai box, ovvero l'officina dedicata a ogni scuderia, in cui spesso negli sport motoristici ci si reca per rifornirsi di carburante o per un cambio gomme

Gare campionato 2018/19:

GARA (01) = E-Prix di Dir'iyya (Arabia Saudita)

GARA (02) = E-prix di Marrakech (Marocco)

GARA (03) = E-prix di Santiago (Cile)

GARA (04) = E-prix di Città del Messico (Messico)

GARA (05) = E-prix di Hong Kong (Hong Kong)

GARA (06) = E-prix di Sanya (Cina)

GARA (07) = E-prix di Roma (Italia)

GARA (08) = E-prix di Parigi (Francia)

GARA (09) = E-prix di Monaco (Monaco)

GARA (10) = E-prix di Berlino (Germania)

GARA (11) = E-prix di Berna (Svizzera)

GARA (12) = E-prix di New York Gara 1 (Stati Uniti)

GARA (13) = E-prix di New York Gara 2 (Stati Uniti)

3. TEMPERATURA E PERFORMANCE

In questo capitolo viene svolta nel dettaglio tutta l'analisi a riguardo delle temperature atmosferiche⁷ e una possibile relazione con le performance dei piloti.

Gara	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13
T min (°C)	17,6111	20,2222	36,9444	26,5556	18,4444	27,6667	15,8333	10,3333	17,7778	15,3889	21	30,4444	32,2778
T media (°C)	17,80023	20,53546	37,41608	27,59742	18,62038	27,98148	16,09339	12,0949	17,9698	15,74112	22,91732	31,00241	32,60284
T max (°C)	17,9444	20,9444	37,8889	28,5	18,7222	28,6667	16,3889	14,0556	18,2222	16	23,5556	31,6667	33,0556
Delta T (max/min) (°C)	0,3333	0,7222	0,9445	1,9444	0,2778	1	0,5556	3,7223	0,4444	0,6111	2,5556	1,2223	0,7778
T inizio gara (°C)	17,8889	20,2222	36,9444	28,5	18,5	28,6667	15,9444	13,6111	18,1667	15,3889	23,5	31,2778	32,7222
T fine gara (°C)	17,6111	20,9444	37,5556	26,5556	18,7222	27,6667	16,0556	10,4444	17,8333	15,8333	21	30,5	32,2778

Tabella 1 Temperature massime, medie, minime per le 13 gare della stagione

In una prima tabella sono state riportate le temperature minime, massime e medie per le 13 gare disputate, mentre nelle ultime tre righe sono presenti la differenza di temperatura (massima-minima), la temperatura rilevata a inizio gara e quella al termine.

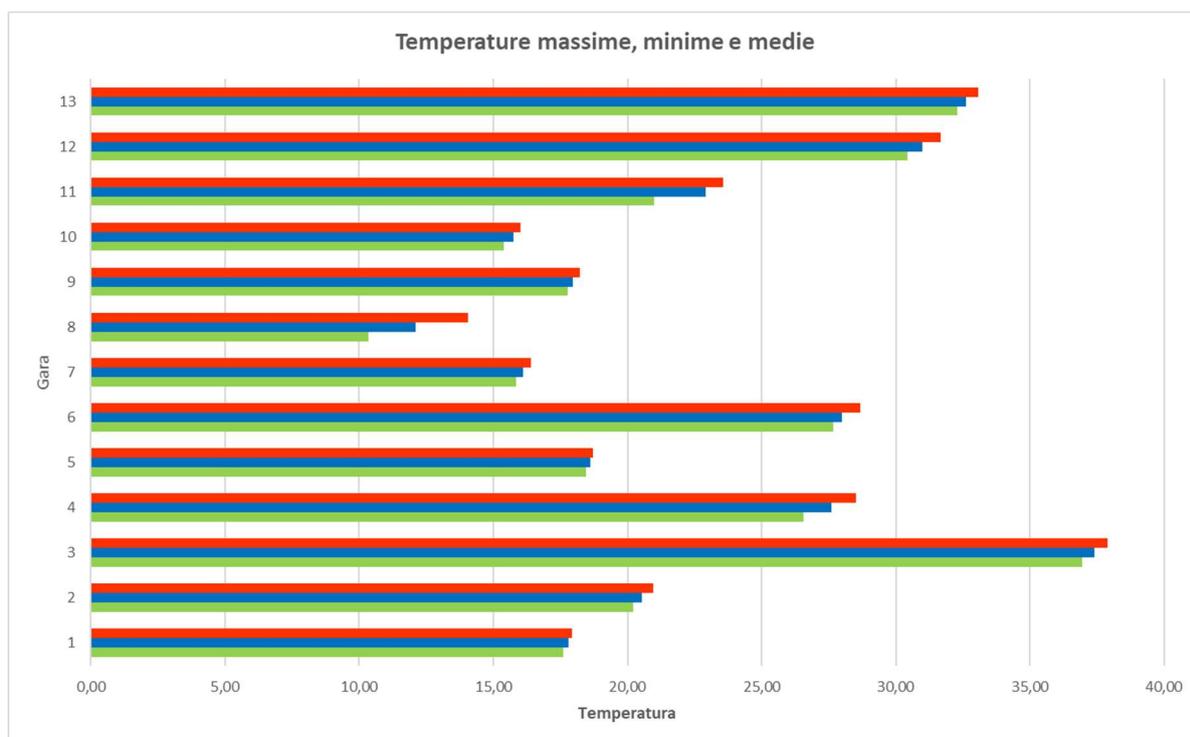


Grafico 1 Temperature massime, minime e medie delle 13 gare della stagione.

I dati in tabella sono stati ulteriormente trasformati e riportati attraverso un grafico, dove è possibile notare anche attraverso le barre che la differenza di temperatura da minima a massima è molto contenuta. La differenza di temperatura più significativa è di 3,72 °C rilevata

⁷ I dati riguardanti le temperature atmosferiche, le gare, i tempi sul giro, le velocità sono stati presi dal database: (<http://fiaformulae.alkamelsystems.com/redirect.php>).

durante la gara di Parigi, tutto ciò dovuto dall' arrivo di un improvviso temporale estivo sul circuito, mentre gli altri delta di temperatura oscillano da 0,28 a 2,56°C.

Altri dati molto importanti sono la temperatura massima assoluta di 37,89°C verificatasi durante la gara di Santiago (Gara N°03) e quella minima assoluta di 10,33°C misurata a Parigi (Gara N°08) durante il temporale accennato in precedenza.

Dopo una prima analisi, è stata presa come gara simbolo la N°02 ovvero la gara svoltasi a Marrakech in Marocco.

Questa giornata del campionato è stata considerata come quella da prendere in considerazione come valore ottimale poiché si è misurato che la temperatura media è di 20,54°C con un delta di 0,72°C ovvero la temperatura ideale per disputare una gara di Formula-E⁸.

Questo valore di 20°C come valore di temperatura atmosferica è considerato come ottimale per disputare una gara, poiché le batterie delle monoposto hanno una migliore resa e una migliore erogazione e mantenimento della carica.

Il valore di temperatura atmosferica ottenuto per mezzo della scuderia Rokit Venturi Racing ha fatto sì che la gara di Marrakech fosse presa come riferimento per tutte le altre gare al fine di misurare e studiare le differenze da un ad un'altra e trovare una relazione tra la temperatura e andamento del pilota in gara, il tutto misurabile attraverso i tempi e le velocità.

Nel grafico seguente sono riportate le varie gare sull'asse delle ordinate e la temperatura media rilevata sull'asse delle ascisse. Disponendo le varie competizioni dalla più fredda alla più calda si nota come la gara N°02, ovvero quella di Marrakech, per casualità sia esattamente la gara intermedia tra tutte.

⁸ Il dato riguardante la temperatura ottimale per disputare una gara di Formula-E è stato fornito dalla Rokit Venturi Racing.

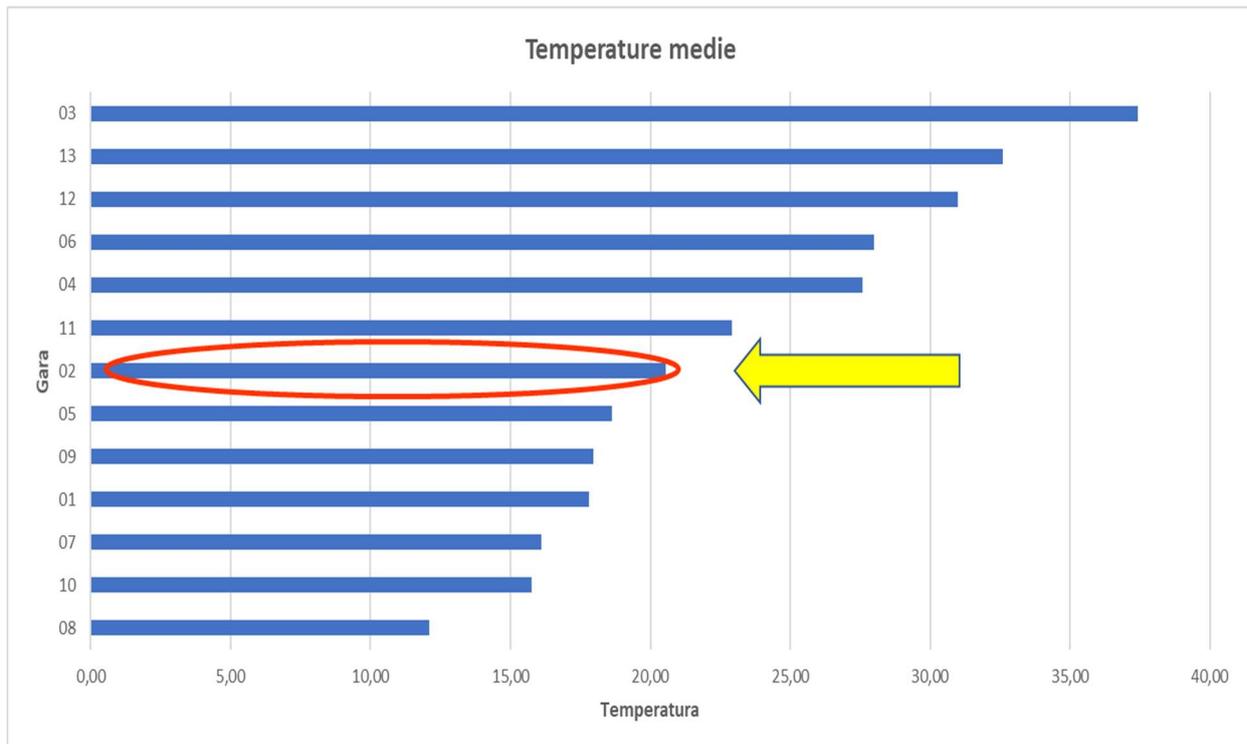


Grafico 2 Temperature medie delle 13 gare della stagione.

Dopo aver riportato in forma tabellare e grafica i valori delle temperature rilevate per ogni data del campionato, nel capitolo seguente verrà svolta una analisi riguardante le velocità di punta e il giro più veloce in assoluto per ogni pilota nelle varie gare.

Inizialmente l'obiettivo era cercare e dimostrare una possibile relazione tra il cambiamento di temperatura nell'arco della gara e la variazione di performance dei piloti sotto forma di velocità di punta (espressa in "km/h" oppure "KPH") e nei tempi migliori sul giro in secondi (espressi in "s").

Quindi se fosse veritiera questa relazione ad una temperatura che tende verso i 20°C, le performance di una monoposto sarebbero migliorate.

4. LE TRE GARE PIU'SIGNIFICATIVE

Le gare più significative analizzate sono:

- Marrakech (Marocco)

Questa gara rappresenta il secondo appuntamento del campionato, il circuito ha una lunghezza di 2,97km con 12 curve totali⁹.

- Parigi (Francia)

L'ottavo appuntamento della stagione si svolge nel circuito cittadino dell'omonima città, lungo 1,93km con 14 curve totali.

- Santiago (Cile)

La gara a Santiago è stata la terza gara che anche essa si svolge sul circuito cittadino lungo 2,35 km con 11 curve totali.

⁹ I dati sono stati ricavati da: (<https://it.wikipedia.org/wiki/E-Prix>)

4.1 MARRAKECH

La gara di Marrakech, si è svolta il 12 gennaio 2019 sul circuito cittadino dell'omonima città e ha visto la vittoria di Jerome D'Ambrosio per la scuderia Mahindra Racing.

Questa è la prima gara che viene analizzata, poiché come detto già in precedenza rappresenta l'appuntamento del campionato che si usa come gara simbolo per poi svolgere gli studi seguenti sulle altre gare.

Il circuito è uno dei più veloci di tutto il campionato, è formato da numerosi rettilinei ma allo stesso tempo è impegnativo per ogni pilota, per questo è fondamentale come strategia risparmiare la batteria soprattutto durante i lunghi rettilinei, sfruttare al meglio la scia del pilota che precede e inoltre ottimizzare l'utilizzo degli Attack Mode.

Facendo un primo studio sulle temperature atmosferiche prese dal database "<http://fiaformulae.alkamelsystems.com/redirect.php>", è stato creato un grafico mettendo in semplice relazione sull'asse delle ordinate la temperatura in °C e sull'asse delle ascisse l'orario in cui si è svolta la gara che è durata 47 minuti totali.

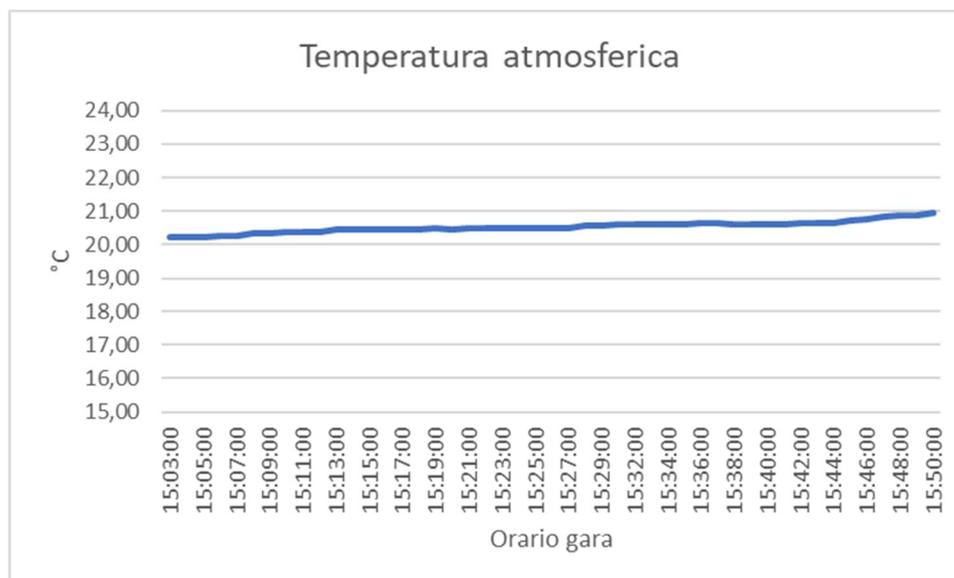


Grafico 3 Andamento della temperatura atmosferica gara di Marrakech

Dal grafico si nota che la temperatura ha avuto un andamento ascendente ma molto contenuto poiché da inizio gara al termine c'è stata una minima variazione di 0,72°C.

Nome pilota	Giro veloce (s)	Giro	°C	KPH	Giro
Sims	81,992	20	20,61	209,85272	20
Lotterer	81,177	31	20,94	212,10574	31
Abt	81,118	31	20,94	212,26667	31
Mortara	81,849	31	20,94	210,33551	31
Massa	81,523	31	20,94	211,14016	31
Vergne	81,391	18	20,61	211,46202	18
D Ambros	82,366	25	20,67	209,04807	25
Lopez	81,163	31	20,94	212,10574	31
Di Grassi	80,296	31	20,94	214,35876	31
Gunther	81,691	31	20,94	210,65737	31
Evans	80,594	31	20,94	213,55411	31
Piquet	81,01	31	20,94	212,4276	31
Rowland	81,013	31	20,94	212,4276	31
Turvey	81,856	31	20,94	210,33551	31
Frijins	82,247	31	20,94	209,209	31
Bird	82,101	31	20,94	209,69179	31
Buemi	80,538	31	20,94	213,71504	31
Dilmann	81,67	31	20,94	210,8183	31

Tabella 2 Risultati giro veloce, velocità, temperatura gara di Marrakech

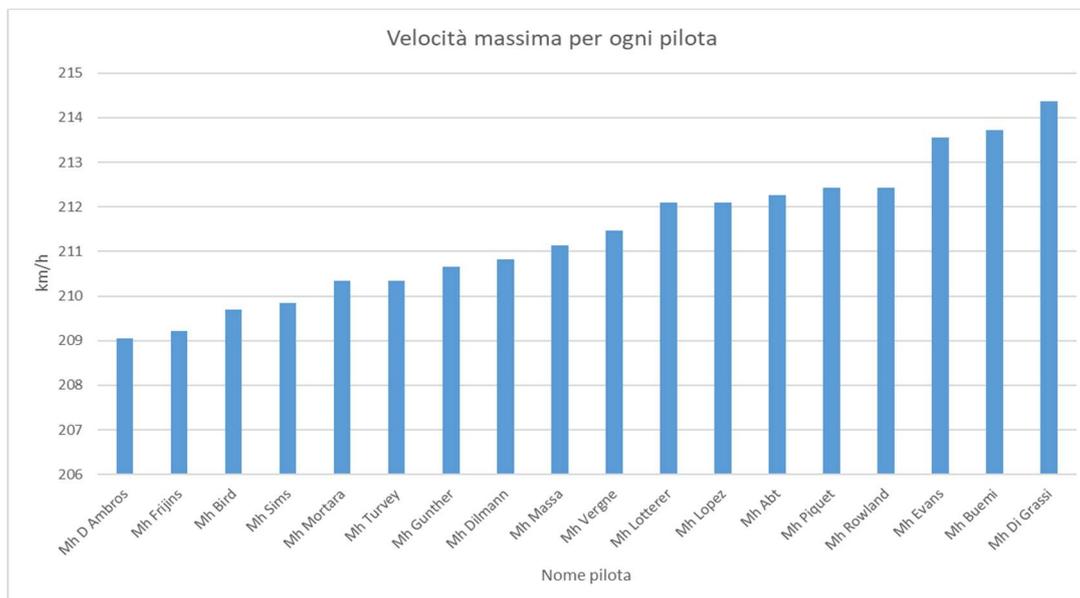


Grafico 4 Istogramma delle velocità massime di ogni pilota nella gara di Marrakech

Successivamente la temperatura è stata relazionata con la velocità di punta in (km/h), con il giro in cui questa velocità è stata rilevata e con l'orario.

A partire dal grafico si nota che i valori di velocità di punta sono molto vicini tra di loro, questo a significare che le caratteristiche tecniche delle monoposto sono molto simili tra di loro per ogni scuderia. Unendo i dati con la tabella vediamo che per quasi tutti i piloti la velocità massima è stata registrata all'ultimo giro, questo perché nei penultimi giri si era in condizioni di Safety Car e i piloti hanno potuto conservare energia e sfruttarla nel giro finale.

Nome pilota	Giro più veloce	La velocità di punta in km/h	Ordine arrivo		
Di Grassi	80,296	Di Grassi	214,35876	Dambrosio	1
Buemi	80,538	Buemi	213,71504	Frijns	2
Evans	80,594	Evans	213,55411	Bird	3
Piquet	81,01	Piquet	212,4276	Sims	4
Rowland	81,013	Rowland	212,4276	Vergne	5
Abt	81,118	Abt	212,26667	Lotterer	6
Lopez	81,163	Lotterer	212,10574	Di Grassi	7
Lotterer	81,177	Lopez	212,10574	Buemi	8
Vergne	81,391	Vergne	211,46202	Evans	9
Massa	81,523	Massa	211,14016	Abt	10
Dilmann	81,67	Dilmann	210,8183	Lopez	11
Gunther	81,691	Gunther	210,65737	Gunther	12
Mortara	81,849	Mortara	210,33551	Mortara	13
Turvey	81,856	Turvey	210,33551	Piquet	14
Sims	81,992	Sims	209,85272	Rowland	15
Bird	82,101	Bird	209,69179	Turvey	16
Frijns	82,247	Frijns	209,209	Dilmann	17
D Ambros	82,366	D Ambros	209,04807	Massa	18

Tabella 3 Relazione tra giro veloce, velocità di punta e ordine di arrivo gara di Marrakech

In questa ulteriore tabella è stata costruita la relazione per verificare se per un pilota che compie un giro veloce ed ha una velocità elevata sia sufficiente per ottenere una buona posizione finale o meglio un posto sul podio.

Dopo i vari calcoli, dopo aver analizzato i dati e basandoci anche sui fatti realmente accaduti, sembra che la nostra ipotesi di partenza venga ribaltata.

Prendendo come campione il pilota D'Ambrosio (che sarà inoltre il vincitore della gara), notiamo che detiene il giro più lento e anche la velocità è la più bassa tra tutti gli avversari. Possiamo supporre che il buon esito della gara sia dovuto alla sua costanza giro per giro, all'ottima strategia nell'utilizzo degli Attack Mode e alla bravura stessa del pilota. Un ragionamento analogo si può applicare ai piloti Sims e Bird.

Si può quindi affermare che non è fondamentale percorrere il giro veloce per ottenere la vittoria ma nello specifico di questo circuito è importante la costanza, la psicologia nel non commettere errori¹⁰, la strategia nelle decisioni di gara per ottenere una buona posizione finale.

¹⁰ Nella parte finale della gara si è verificato l'incidente tra compagni della stessa scuderia, Da Costa e Sims, che ha provocato la rottura della monoposto del primo pilota e la perdita di posizioni del secondo poiché era in prima posizione prima dell'incidente. Questo fatto in particolare rimarca l'ipotesi fatta a riguardo della psicologia dei piloti e nel non commettere errori.

4.2 PARIGI

La gara di Parigi, identificata come la N°08, è stata la gara più fredda dell'intera stagione e probabilmente una delle gare con più interruzioni in totale.

La competizione che si è svolta il 27 aprile 2019 è stata svolta sul circuito cittadino di Parigi e come da regolamento i piloti dovevano percorrere i 45 minuti di gara più un giro aggiuntivo prima di tagliare il traguardo.

Con un totale di 32 giri totali, notiamo dallo studio della gara in sé che durante il 14° giro è sopraggiunto sul circuito un violento temporale estivo causando una diminuzione delle temperature dai 13,6°C rilevati ad inizio gara ai 10,44°C di fine gara.

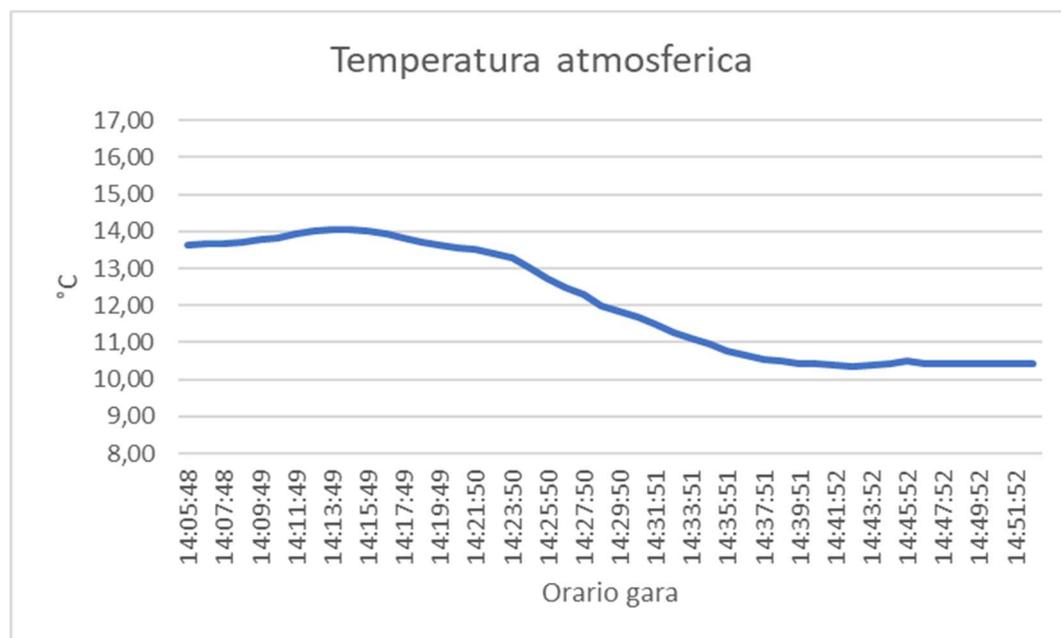


Grafico 5 Andamento della temperatura atmosferica gara di Parigi

Mettendo in relazione la velocità massima di ogni pilota con il giro in cui questa velocità è stata rilevata e lo stesso per il tempo sul giro relazionato con il giro in cui si rileva, il tutto tenendo presente sempre i valori di temperatura, si nota che per tutti i piloti il giro veloce è avvenuto prima del sopravvento del temporale. Questo anche perché in condizioni di bagnato non si possono sprigionare le massime prestazioni e la concentrazione per non commettere errori e provocare un incidente aumenta.

Nome pilota	Giro veloce (s)	Giro	°C	KPH	Giro
Lotterer	62,947	9	13,00	176,70114	14
Da Costa	63,11	5	13,61	176,21835	10
Abt	63,221	10	13,00	175,89649	14
Massa	62,976	8	13,28	176,70114	13
Paffet	63,098	7	13,39	176,21835	12
Vergne	63,286	7	13,39	175,73556	12
D Ambros	63,004	8	13,28	176,54021	13
Lopez	63,128	6	13,50	176,21835	11
Di Grassi	63,113	9	13,00	176,21835	14
Gunther	63,09	10	12,72	176,37928	15
Evans	62,85	8	13,50	176,21835	11
Rowland	62,858	7	13,39	177,023	12
Turvey	63,314	10	12,72	175,73556	15
Wherlein	63,153	10	12,72	176,05742	15
Frijins	62,922	8	13,28	176,86207	13
Bird	63,272	7	13,39	175,73556	12
Buemi	62,852	8	13,28	177,023	13

Tabella 4 Risultati giro veloce, velocità e temperatura gara di Parigi

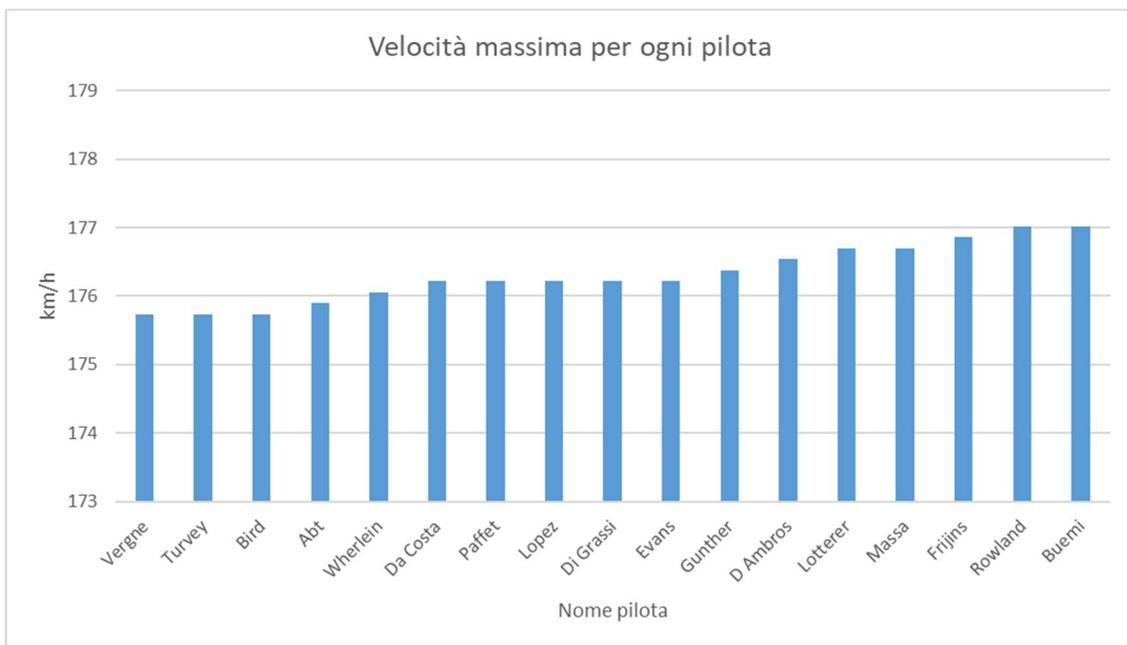


Grafico 6 Istogramma delle velocità massime di ogni pilota nella gara di Parigi

Facendo un primo paragone con la gara di Marrakech si nota immediatamente che le velocità massime sono di molto inferiori (177 KPH contro i 213 KPH) questo giustificato dalla diversa conformazione della pista, poiché nel circuito cittadino i rettilinei sono molto più brevi rispetto

alla gara in Marocco e c'è un alto numero di curve che rendono una guida impegnativa ed articolata.

I tempi sul giro e le velocità si eguagliano tra tutti i piloti, quindi a fare la differenza sarà l'abilità, l'esperienza del singolo.

Continuando ad analizzare i dati si può arrivare alla conclusione e alla dimostrazione che tutte le monoposto hanno le stesse caratteristiche tecniche, infatti l'obiettivo di questo campionato è di rendere omogenea la differenza delle varie scuderie soprattutto dal punto di vista tecnico, dell'aerodinamica, delle gomme lasciando pochi spiragli per ulteriori modifiche.

Dal punto di vista della temperatura invece non si riesce ad arrivare ad una prima conclusione che a causa di una diminuzione di quasi 4 °C ci sia una riduzione della performance delle monoposto, ma una causa maggiore potrebbe essere il manto stradale bagnato, la perdita di grip dovuta dall'acqua tra il battistrada e l'asfalto e quindi una perdita di aderenza considerevole per la monoposto con una netta diminuzione delle velocità di punta.

Nome pilota	Giro più veloce	La velocità di punta in km/h	Ordine arrivo		
Evans	62,85	Rowland	177,02	Frijins	1
Buemi	62,85	Buemi	177,02	Lotterer	2
Rowland	62,86	Frijins	176,86	Abt	3
Frijins	62,92	Lotterer	176,70	Di Grassi	4
Lotterer	62,95	Massa	176,70	Gunther	5
Massa	62,98	D Ambros	176,54	Vergne	6
D Ambros	63,00	Gunther	176,38	Da Costa	7
Gunther	63,09	Da Costa	176,22	Paffet	8
Paffet	63,10	Paffet	176,22	Massa	9
Da Costa	63,11	Lopez	176,22	Wherlein	10
Di Grassi	63,11	Di Grassi	176,22	Bird	11
Lopez	63,13	Evans	176,22	Rowland	12
Wherlein	63,15	Wherlein	176,06	Lopez	13
Abt	63,22	Abt	175,90	Turvey	14
Bird	63,27	Vergne	175,74	Buemi	15
Vergne	63,29	Turvey	175,74	Evans	16
Turvey	63,31	Bird	175,74	Dambrosio	17

Tabella 5 Relazione tra giro veloce, velocità di punta e ordine di arrivo gara di Parigi

Nella tabella soprastante sono paragonate le velocità di punta, il tempo sul giro più basso con la posizione finale della gara.

A differenza della gara di Marrakech questa gara è stata molto articolata per l'arrivo del temporale, della presenza di molti incidenti ed errori da parte dei piloti a causa del manto stradale bagnato. Tutto ciò è largamente riassunto dalla tabella in cui non è verificato che chi compie un giro veloce o le velocità di punta sono elevate allora otterrà una buona posizione finale ma i fattori elencati in precedenza hanno reso molto variabile questa gara.

4.3 SANTIAGO

La gara di Santiago è stata svolta nel circuito cittadino dell'omonima città il 26 gennaio 2019, si è sviluppata su 36 giri totali e ha visto la vittoria di Sam Bird per la scuderia Envision Virgin Racing.

Questa gara, all'opposto di quella di Parigi, rappresenta la gara più calda di tutto il campionato con una temperatura massima registrata di 37,89°C e una variazione di temperatura durante la competizione stessa di 0,94°C.

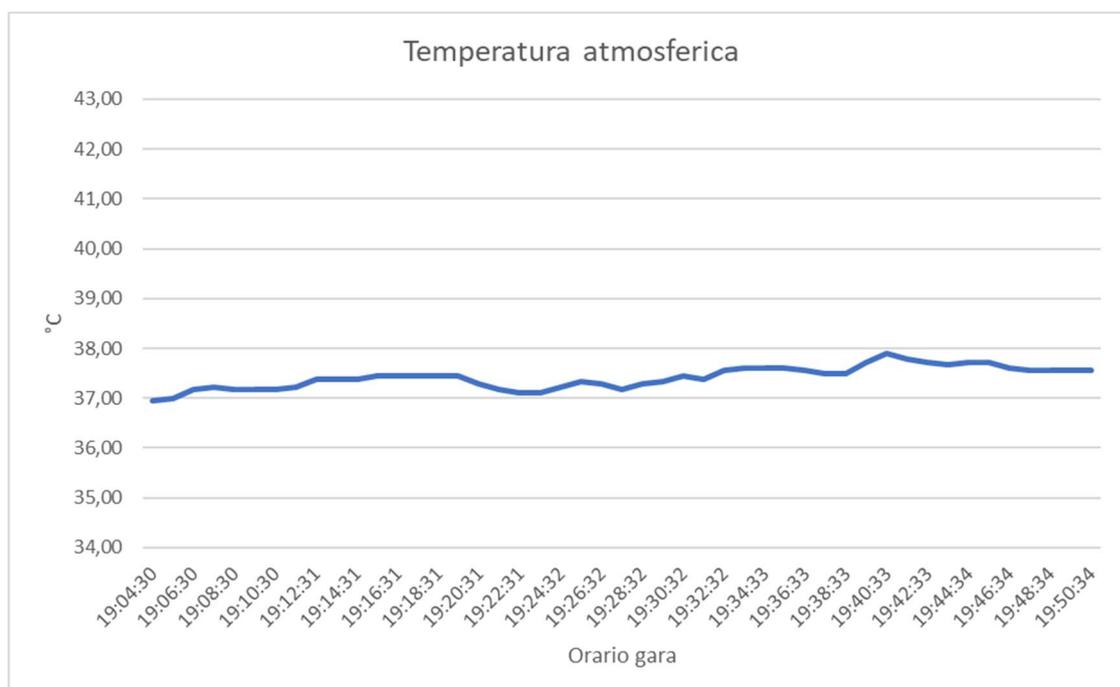


Grafico 7 Andamento della temperatura atmosferica gara di Santiago

Dalla visione del grafico si nota che la temperatura dell'aria mantiene valori elevati per tutto l'arco della gara e la temperatura del tracciato composto per la metà da cemento e per metà da asfalto è di 49°C.

Nome pilota	Giro veloce (s)	Giro	°C	KPH	Giro
Sims	72,214	13	37,44	188,44903	13
Lotterer	71,936	24	37,56	189,09275	24
Abt	71,263	25	37,61	190,86298	25
Mortara	72,152	30	37,89	188,60996	30
Paffet	73,35	7	37,72	185,23043	34
D Ambros	72,018	24	37,56	188,93182	24
Lopez	71,619	25	37,61	189,8974	25
Di Grassi	71,519	28	37,50	190,21926	28
Evans	72,238	23	37,39	188,2881	23
Piquet	72,908	11	37,39	186,51787	10
Turvey	73,034	14	37,61	186,19601	25
Wherlein	71,585	31	37,78	190,05833	31
Frijns	71,943	30	37,89	189,09275	30
Bird	72,004	27	37,56	188,93182	27

Tabella 6 Risultati giro veloce, velocità e temperatura gara di Santiago

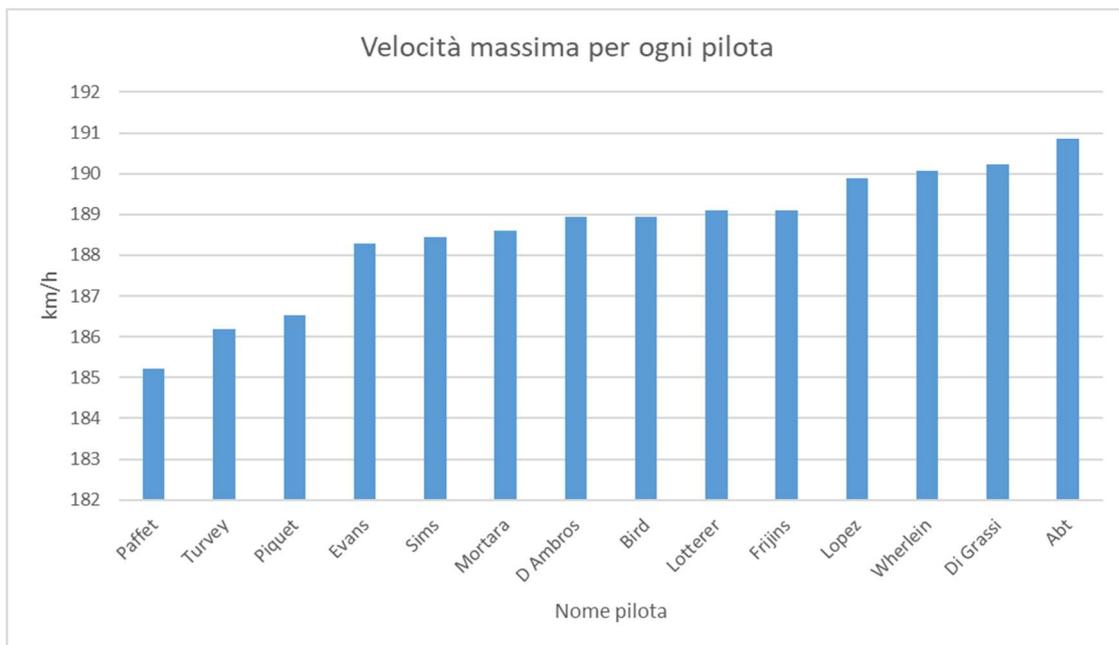


Grafico 8 Istogramma delle velocità massime di ogni pilota nella gara di Santiago

In questo circuito le velocità di punta sono più elevate per i vari piloti rispetto al circuito parigino, dovuto anche dal fatto che il tracciato è composto da numerosi rettilinei.

Una differenza rispetto sempre alla gara di Parigi è il delta tra le velocità massima e minima poiché oscillano da 185km/h a 190km/h.

I giri veloci e le velocità massime registrate sono state abbastanza omogenee per tutta la gara e in alcuni casi si sono verificate nei giri conclusivi soprattutto per i piloti che hanno risparmiato energia della batteria per sprigionarli nel finale.

Nome pilota	Giro più veloce	Velocità di punta in km/h	Ordine arrivo		
Abt	71,26	Abt	190,86	Bird	1
Di Grassi	71,52	Di Grassi	190,22	Wehrlein	2
Wherlein	71,59	Wherlein	190,06	Abt	3
Lopez	71,62	Lopez	189,90	Mortara	4
Lotterer	71,94	Lotterer	189,09	Frijns	5
Frijns	71,94	Frijns	189,09	Evans	6
Bird	72,00	D Ambros	188,93	Sims	7
D Ambros	72,02	Bird	188,93	Turvey	8
Mortara	72,15	Mortara	188,61	Lopez	9
Sims	72,21	Sims	188,45	Dambrosio	10
Evans	72,24	Evans	188,29	Piquet	11
Piquet	72,91	Piquet	186,52	Di Grassi	12
Turvey	73,03	Turvey	186,20	Lotterer	13
Paffet	73,35	Paffet	185,23	Paffet	14

Tabella 7 Relazione tra giro veloce, velocità di punta e ordine di arrivo gara di Santiago

5. ANALISI VARIAZIONE CARICA BATTERIE

In questo capitolo viene svolta una analisi riguardante la diminuzione della percentuale delle batterie durante tutto l'arco della gara al fine scovare una relazione con la variazione della temperatura atmosferica nella gara stessa.

Sono stati presi come oggetto di studio le performance dei due piloti della scuderia Rokit Venturi Racing ovvero Massa e Mortara, dove oltre ad analizzare le caratteristiche fino a qui descritte, è stato posto un focus in modo particolare sugli Attack Mode, a che giro sono stati utilizzati e gli eventuali benefici che hanno postato durante la gara.¹¹

Le gare analizzate sono:

- Marrakech (Marocco) - 12 GENNAIO 2019
- Parigi (Francia) - 27 APRILE 2019
- Santiago (Cile) - 26 GENNAIO 2019

Poiché rappresentano rispettivamente la gara con la temperatura media, quella più fredda e quella più calda.

¹¹ I dati sono stati ricavati analizzando direttamente l'intero video delle gare su "YouTube" e su "Mediaset Play" al fine di ricavare la percentuale delle batterie e unire tutto quanto con i dati già presenti sul database: "<http://fiaformulae.alkamelsystems.com/redirect.php>".

In alcune celle delle tabelle riportate da excell non è presente alcun valore poiché visionando i video non viene riportato nessun valore in alcuni giri della gara.

5.1 GARA DI MARRAKECH

La gara si svolge su 45 minuti più un giro finale, per avere un totale di 31 giri completati.

	Giro	% batteria	posizione
Massa	1		11
Massa	2	92	11
Massa	3		12
Massa	4		13
Massa	5		14
Massa	6		14
Massa	7		14
Massa	8		14
Massa	9		17
Massa	10		17
Massa	11		17
Massa	12	63,5	18
Massa	13	59,5	19
Massa	14		19
Massa	15		19
Massa	16	51	19
Massa	17		19
Massa	18		19
Massa	19	44	19
Massa	20	37	19
Massa	21		19
Massa	22	36	19
Massa	23		19
Massa	24	29	19
Massa	25		19
Massa	26		18
Massa	27	22	18
Massa	28		18
Massa	29		18
Massa	30	18	18
Massa	31		18

	Giro	% batteria	posizione
Mortara	1		12
Mortara	2	93	12
Mortara	3		11
Mortara	4		11
Mortara	5		11
Mortara	6		11
Mortara	7		11
Mortara	8		11
Mortara	9		11
Mortara	10		10
Mortara	11		11
Mortara	12	64	12
Mortara	13	60	14
Mortara	14		14
Mortara	15		15
Mortara	16	51	15
Mortara	17		15
Mortara	18		15
Mortara	19	45	15
Mortara	20	37	15
Mortara	21		15
Mortara	22	36	14
Mortara	23		14
Mortara	24	29	14
Mortara	25		14
Mortara	26		13
Mortara	27	22	13
Mortara	28		13
Mortara	29		13
Mortara	30	18	13
Mortara	31		13

Tabella 8 Andamento carica della batteria e variazione delle posizioni gara di Marrakech

Nella tabella sono evidenziati in rosso il giro in cui viene attivata la Attack Mode e in azzurro il giro in cui questa potenza extra termina (4 minuti è la durata di un Attack Mode e i piloti ne possono utilizzare 2 in tutto lo svolgimento della gara per un totale di 8 minuti di surplus di potenza del pacco batterie).

5.1.1 VISIONE SULLE POSIZIONI E I RELATIVI GRAFICI

L'andamento delle posizioni di Massa è stato sempre decrescente, con un aumento di una sola posizione dal giro 26 a causa dell'incidente di Da Costa e quindi il conseguente ritiro.

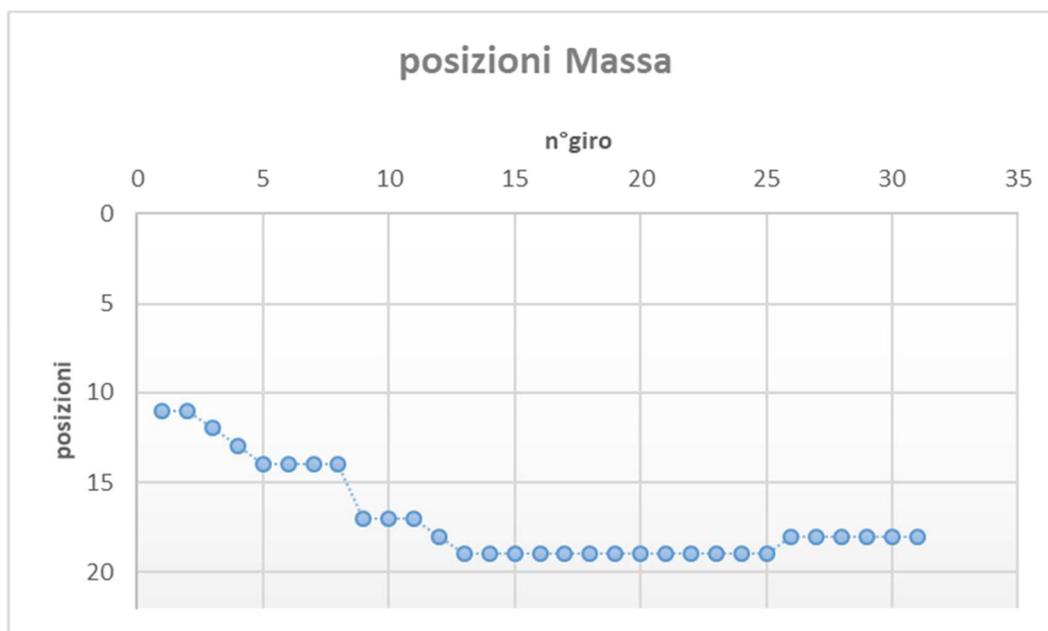


Grafico 9 Andamento posizioni in pista di Massa gara di Marrakech

L'andamento delle posizioni di Mortara ha avuto un andamento decrescente ma meno marcato rispetto a quello di Massa. Anche per lui dal giro 26 c'è un passaggio di posizione dovuto dall'uscita di Da Costa.

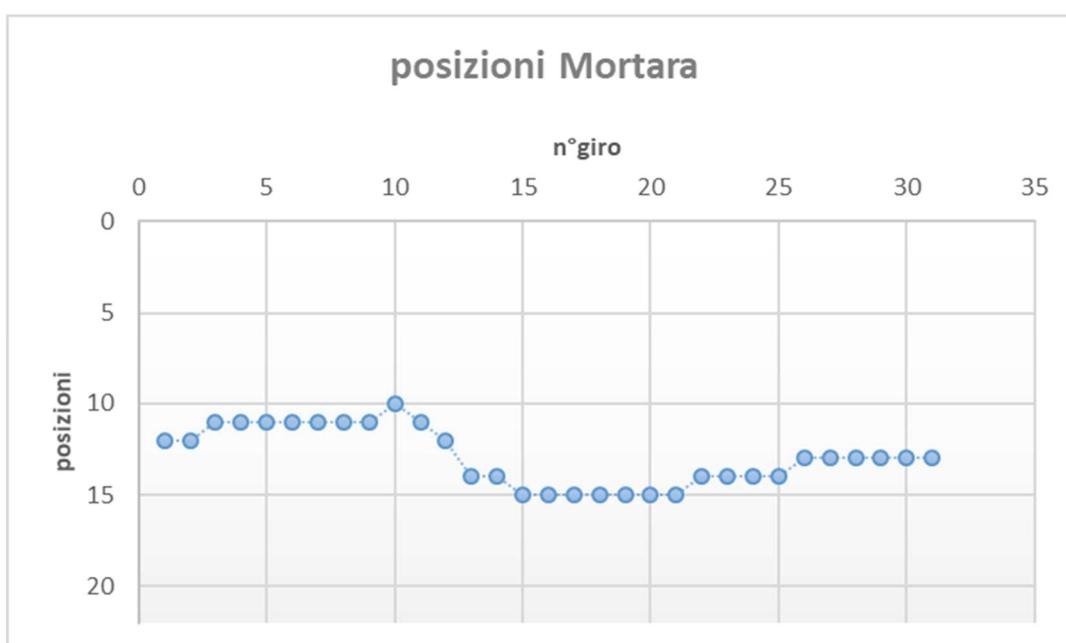


Grafico 10 Andamento posizioni in pista di Mortara gara di Marrakech

5.1.2 DECRESCITA DI CARICA DELLE BATTERIE

I dati forniti dalla registrazione della gara su “Mediaset Play” sono alquanto scarsi: dal giro n°3 al giro n° 11 non compare mai a video alcun valore sulla percentuale, mentre dalla seconda metà della competizione diventano più frequenti.

Provando ad interpretare i dati con un grafico, si intravede che la decrescita è alquanto lineare con un lieve cambiamento di pendenza dal 27° giro al 30° poiché a causa dell’ingresso della Safety Car in pista, i piloti hanno risparmiato la batteria consumando all’incirca il 4/5%.

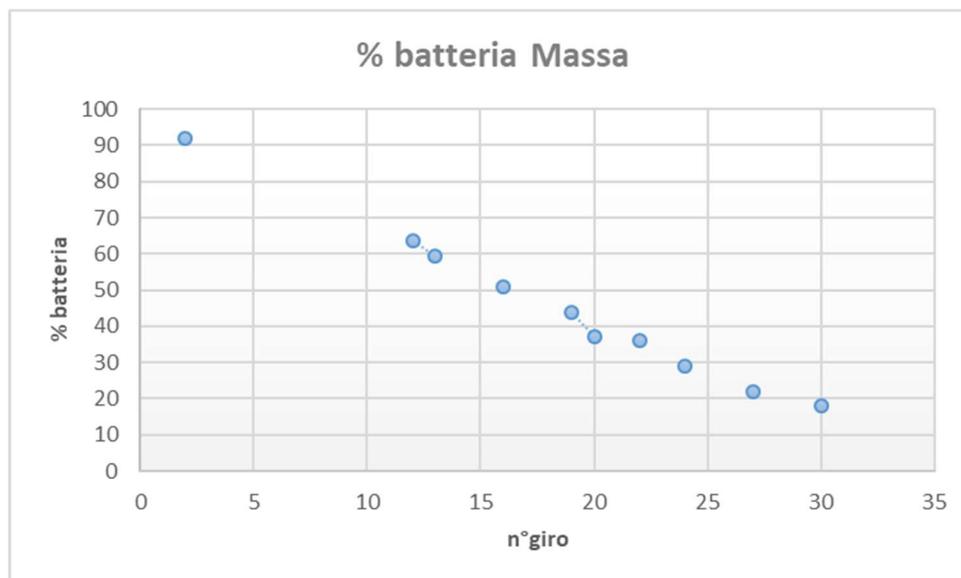


Grafico 11 Diminuzione delle batterie di Massa gara di Marrakech

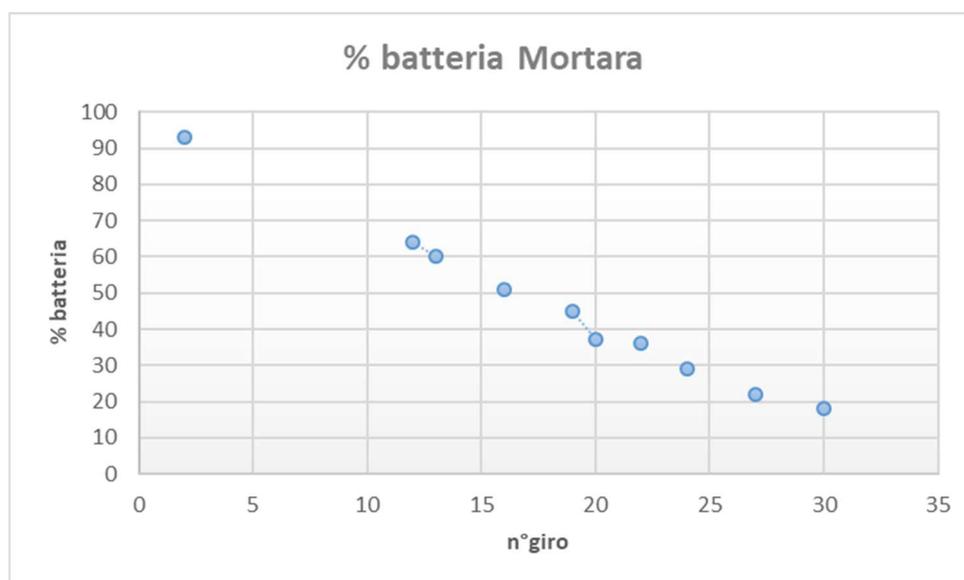


Grafico 12 Diminuzione delle batterie di Mortara gara di Marrakech

In base ai dati forniti e all'andamento della gara, notiamo che le batterie hanno avuto una decrescita alquanto lineare e unitamente si può dare una ipotesi riguardante la strategia di gara, specialmente a riguardo degli Attack Mode.

Nella tabella iniziale sono evidenziati in rosso il giro in cui viene attivata la Attack Mode e in azzurro il giro in cui questa potenza extra termina (4 minuti è la durata di un Attack Mode e i piloti ne possono utilizzare 2 in tutto lo svolgimento della gara per un totale di 8 minuti di surplus di potenza del pacco batterie).

Il dato interessante dall'analisi della tabella delle posizioni e del giro in cui l'Attack Mode è attivato (14 per Massa e 16 per Mortara) è che per nessuno dei 2 piloti si sono verificati sorpassi nonostante la potenza extra e i piloti nelle vicinanze fossero in assenza di questo surplus di KW.

Il secondo Attack Mode forse è meno significativo poiché quasi tutti i piloti lo hanno attivato durante il giro guidato dalla Safety Car (29° giro) e ciò ha comunque riportato le potenze di tutte le monoposto allo stesso livello. Ma con una attenta analisi nello specifico dei 2 piloti del Rokit Venturi Racing si nota che l'Attack Mode attivato durante il giro 29 perde la sua efficacia dopo i primi secondi di percorrenza del 31° giro, quindi fa sì che per metà giro (31°) i 2 piloti si sono trovati senza la potenza extra.

Da un punto di vista più strategico, se l'Attack mode fosse stato attivato nel 30° giro sarebbe durato per tutto il resto della gara e probabilmente i due piloti avrebbero potuto tentare qualche sorpasso.

Ovviamente un'attivazione dell'Attack Mode nel 30° giro sarebbe stato un azzardo poiché è stato l'ultimo giro della Safety Car in pista però avrebbe probabilmente portato ad un esito differente.

Un altro fattore che può essere interessante è stato l'utilizzo degli Attack Mode di D'Ambrosio. Il pilota parte 10° sulla griglia di partenza e fino al 23° giro non utilizza mai nessun Attack Mode.

Il secondo viene attivato al 29° giro come la maggioranza di tutti gli altri piloti. La posizione finale di D'Ambrosio sarà la 1°.

5.1.3 CONFRONTO TEMPERATURA E CARICA DELLA BATTERIA

Nel grafico sottostante è visibile l'andamento della temperatura atmosferica durante il corso della gara.

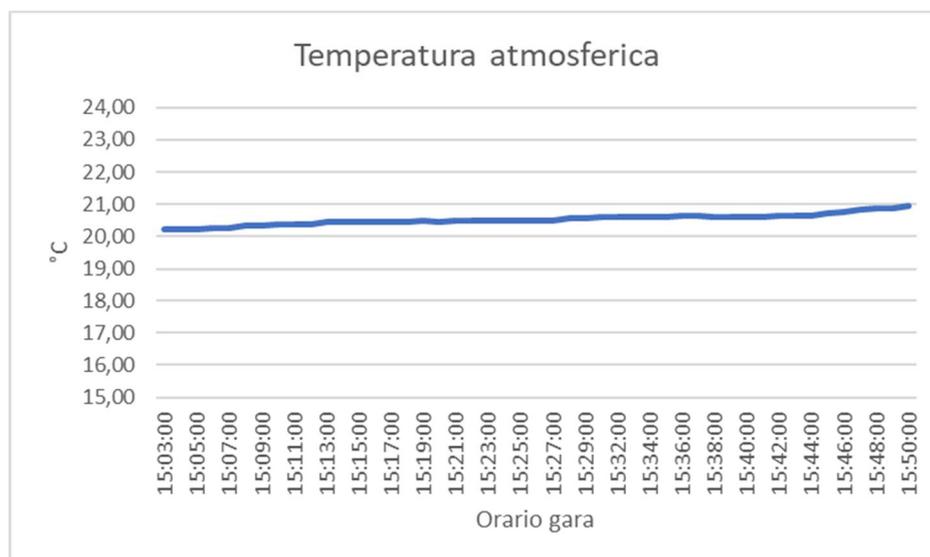


Grafico 13 Andamento della temperatura atmosferica gara di Marrakech

Nel grafico è descritto l'andamento della temperatura atmosferica per tutta la durata della gara in cui la variazione di temperatura è stata di $0,72^{\circ}\text{C}$ con un massimo di $20,94^{\circ}\text{C}$ e un minimo di $20,22^{\circ}\text{C}$. L'andamento è stato alquanto costante, la temperatura stessa è quella ottimale per disputare una competizione di formula-E inoltre la conformazione del tracciato con lunghi rettilinei ha favorito un buon mantenimento delle performance della componente elettrica, aspetto che è sviluppato più nel dettaglio nel capitolo conclusivo.

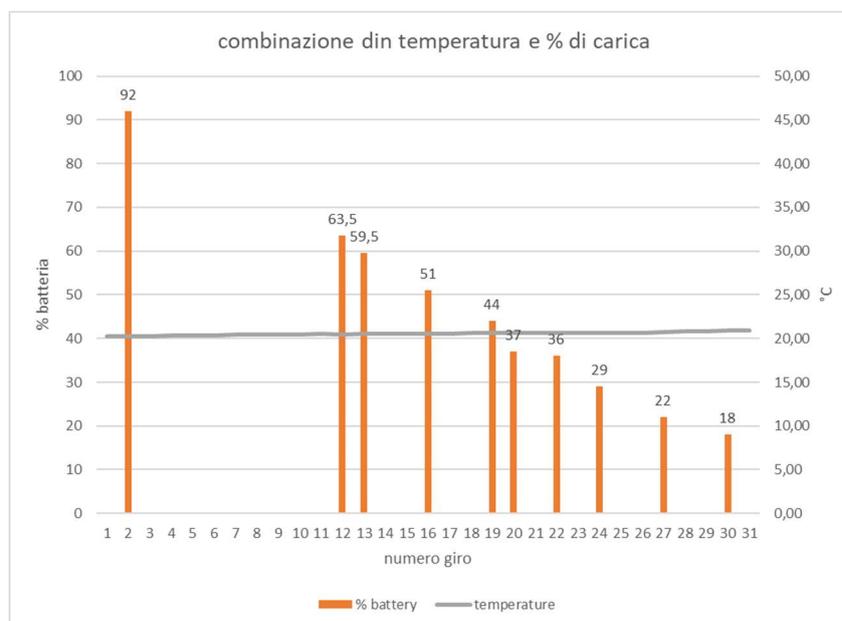


Grafico 14 Temperatura atmosferica e percentuale di carica delle batterie gara di Marrakech

5.2 GARA DI PARIGI

La gara si svolge su 45 minuti più un giro finale, per avere un totale di 32 giri completati.

	Giro	% batteria	posizione
Massa	1		4
Massa	2	94	3
Massa	3		3
Massa	4		3
Massa	5		3
Massa	6	84	3
Massa	7		3
Massa	8		3
Massa	9		3
Massa	10		3
Massa	11	72	3
Massa	12		3
Massa	13		3
Massa	14	67	4
Massa	15		4
Massa	16		4
Massa	17		4
Massa	18		4
Massa	19	59	4
Massa	20		4
Massa	21		4
Massa	22		4
Massa	23		4
Massa	24		4
Massa	25		7
Massa	26		12
Massa	27		12
Massa	28		12
Massa	29		12
Massa	30		9
Massa	31		9
Massa	32		9

	Giro	% batteria	posizione
Mortara	1		10
Mortara	2	94	9
Mortara	3		9
Mortara	4		9
Mortara	5		9
Mortara	6	85	9
Mortara	7		9
Mortara	8		9
Mortara	9		9
Mortara	10		9
Mortara	11	73	9
Mortara	12		9
Mortara	13		9
Mortara	14	67	9
Mortara	15		9
Mortara	16		9
Mortara	17		8
Mortara	18		7
Mortara	19	60	7
Mortara	20		7
Mortara	21		7
Mortara	22		7
Mortara	23		7
Mortara	24		7
Mortara	25		12
Mortara	26		RIT
Mortara	27		RIT
Mortara	28		RIT
Mortara	29		RIT
Mortara	30		RIT
Mortara	31		RIT
Mortara	32		RIT

Tabella 9 Andamento carica della batteria e variazione delle posizioni gara di Parigi

Nella tabella sono evidenziati in rosso il giro in cui viene attivata la Attack Mode e in azzurro il giro in cui questa potenza extra termina (4 minuti è la durata di un Attack Mode e i piloti ne possono utilizzare 2 in tutto lo svolgimento della gara per un totale di 8 minuti di surplus di potenza del pacco batterie).

5.2.1 VISIONE SULLE POSIZIONI E I RELATIVI GRAFICI

L'andamento delle posizioni di Massa è stato alquanto costante, con il mantenimento della 4° posizione fino al 24esimo giro e successivamente ha perso posizioni poiché è stato urtato andando in testacoda. Con il secondo Attack Mode e nuovi incidenti torna alla posizione n°9.

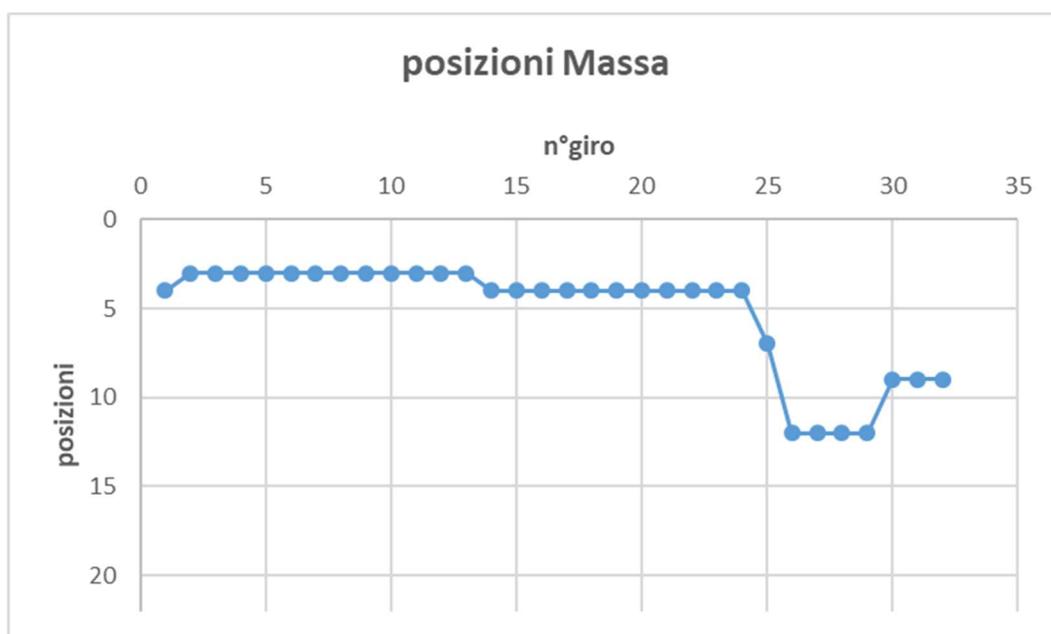


Grafico 15 Andamento posizioni in pista di Massa gara di Parigi

Mortara compie un buon inizio gara e fino al giro 25 non commette errori. Un incidente al 25esimo giro causa il suo ritiro per il danneggiamento della monoposto.

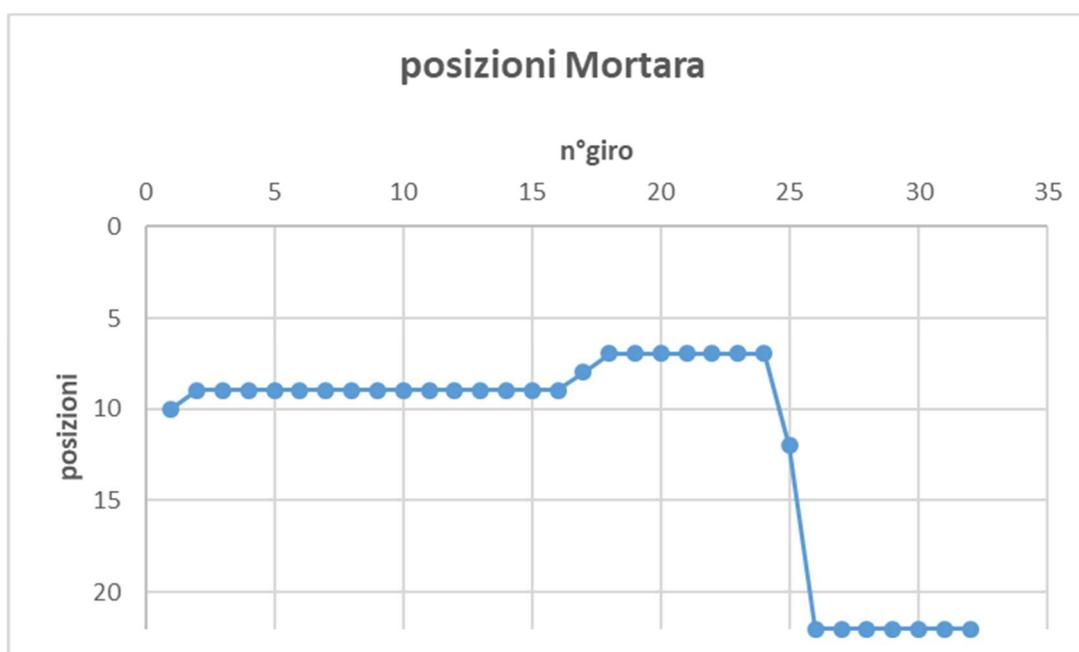


Grafico 16 Andamento posizioni in pista di Mortara gara di Parigi

5.2.2 DECRESCITA DI CARICA DELLE BATTERIE

I dati forniti dalla registrazione della gara su “Mediaset Play” sono alquanto scarsi: dal giro n°20 fino al termine della gara non compare mai a video alcun valore sulla percentuale.

Provando ad interpretare i dati con un grafico, si può ipotizzare una decrescita abbastanza lineare delle batterie, ma a causa della grande mancanza di dati non si possono formulare delle conclusioni certe o alquanto affidabili.

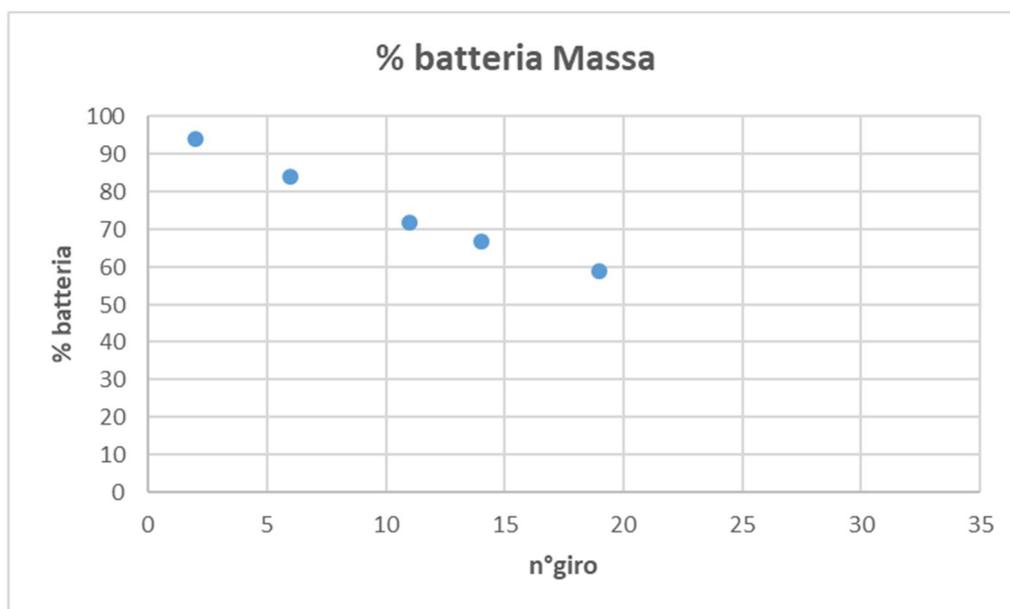


Grafico 17 Diminuzione delle batterie di Massa gara di Parigi

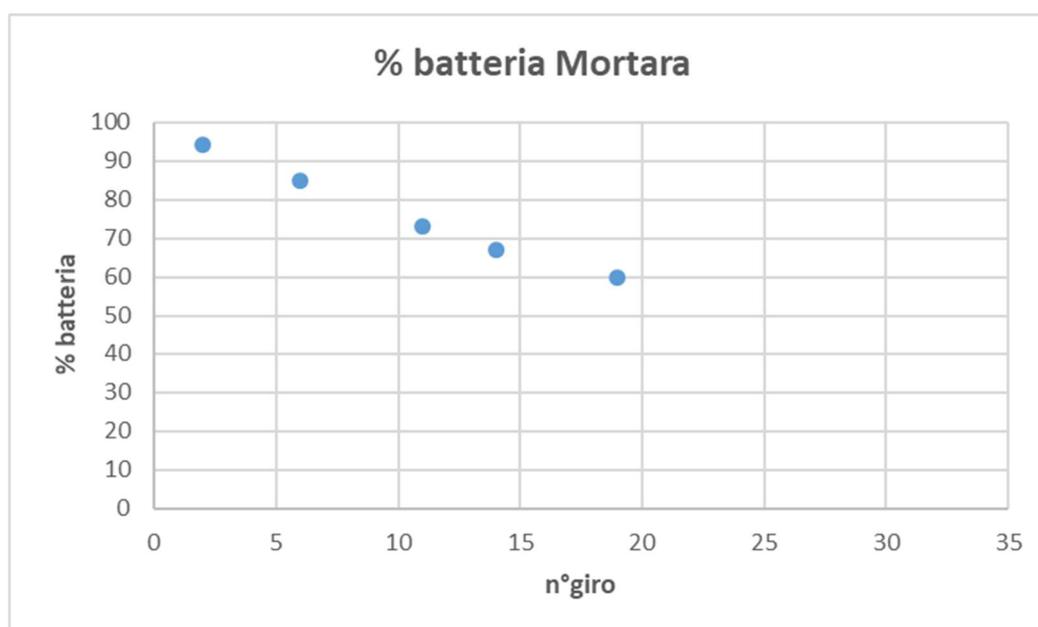


Grafico 18 Diminuzione delle batterie di Mortara gara di Parigi

Le particolarità che si possono annotare per questa gara molto particolare e variegata sono:

- La partenza è avvenuta al giro 0, cioè a metà del circuito dopo l'uscita della Safety Car e non in condizioni statiche come di consuetudine.
- Il primo Attack Mode di Massa al giro 7 ha una durata di ben 5 giri circa ma non riesce in nessun sorpasso poiché i piloti davanti a lui, Buemi e Frijins, sono anch'essi in regime di Attack Mode.
- Durante la metà del 13° giro incombe un violento temporale estivo sul circuito che abbassa drasticamente le velocità delle monoposto e nell'arco di 3 giri viene indetta bandiera gialla a causa della scarsa visibilità.
- Al giro 21 altra bandiera gialla ed interruzione per l'incidente di Sims e ritorna una seconda copiosa pioggia sul circuito.
- Al giro 25 a causa dell'incidente di Mortara si torna in bandiera gialla.
- Al giro 31 altra bandiera gialla per incidente e l'ultimo giro ovvero il 32° viene corso soltanto per metà in bandiera verde portando alla vittoria Frijins.

Si può constatare che questo gran premio è stato caratterizzato da molte interruzioni sia di natura umana che atmosferiche. Il circuito bagnato e stretto ha messo alla prova i vari piloti che sono stati condizionati da tutto ciò creando incidenti e mantenendo uno stile di guida totalmente diverso da tipiche condizioni di gara.

La costante presenza della Safety Car in pista o della condizione di bandiera gialla ha influenzato la strategia di gara e il consumo delle batterie (di questo consumo non abbiamo però dati certi e concreti dal 20° giro al 32°).

5.2.3 CONFRONTO TEMPERATURA E CARICA DELLA BATTERIA

Nel grafico sottostante è visibile l'andamento della temperatura atmosferica durante il corso della gara.

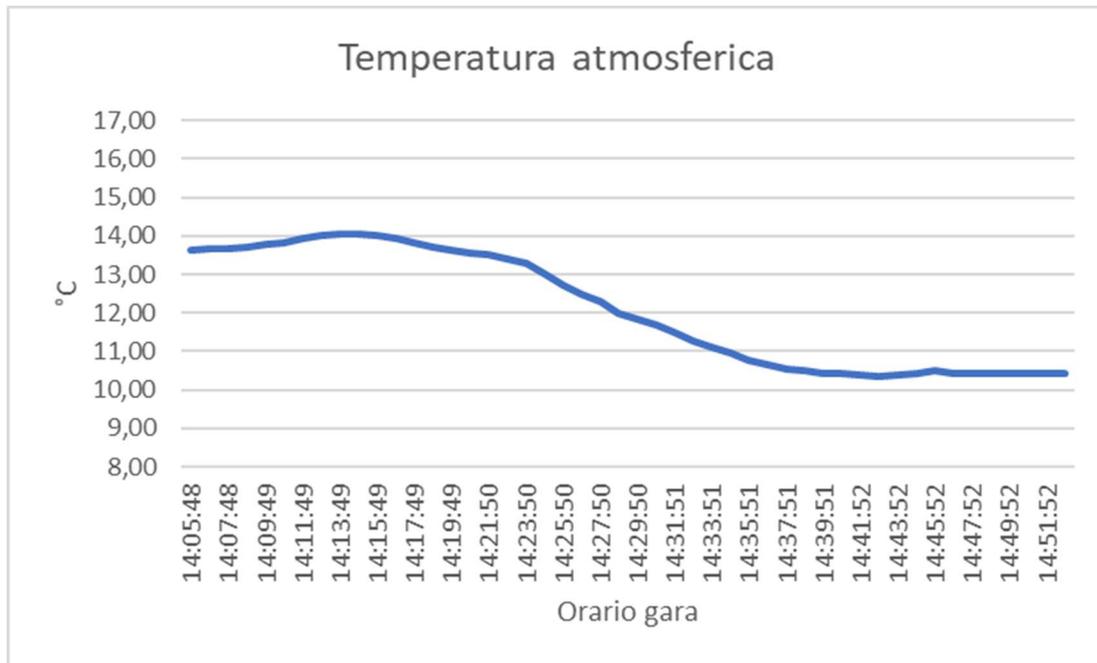


Grafico 19 Andamento della temperatura atmosferica gara di Parigi

Questo secondo grafico è molto approssimativo, visto che non si possiedono molte informazioni a riguardo della percentuale di carica delle batterie.

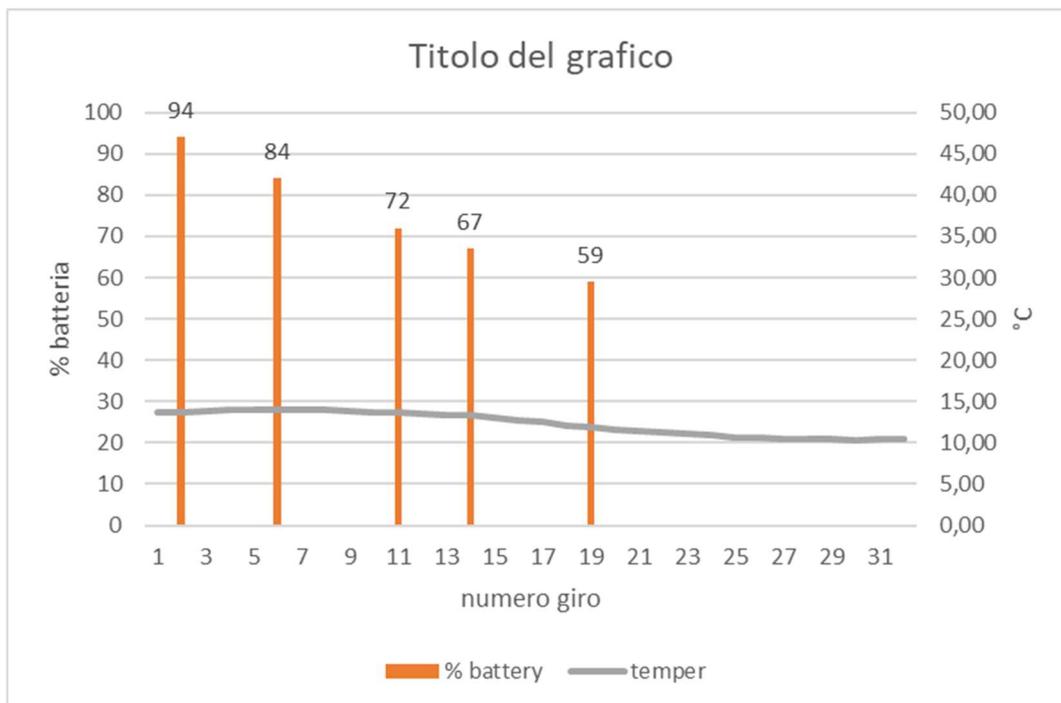


Grafico 20 Temperatura atmosferica e percentuale di carica delle batterie gara di Parigi

5.3 GARA DI SANTIAGO

La gara si svolge su 45 minuti più un giro finale, per avere un totale di 36 giri completati.

	Giro	% batteria	posizione
Massa	1		9
Massa	2		9
Massa	3		9
Massa	4	87	9
Massa	5	85	9
Massa	6		9
Massa	7		9
Massa	8		10
Massa	9		10
Massa	10		10
Massa	11		10
Massa	12	67	11
Massa	13		20
Massa	14		RIT
Massa	15		RIT
Massa	16		RIT
Massa	17		RIT
Massa	18		RIT
Massa	19		RIT
Massa	20		RIT
Massa	21		RIT
Massa	22		RIT
Massa	23		RIT
Massa	24		RIT
Massa	25		RIT
Massa	26		RIT
Massa	27		RIT
Massa	28		RIT
Massa	29		RIT
Massa	30		RIT
Massa	31		RIT
Massa	32		RIT
Massa	33		RIT
Massa	34		RIT
Massa	35		RIT
Massa	36		RIT

	Giro	% batteria	posizione
Mortara	1		6
Mortara	2		6
Mortara	3		6
Mortara	4	88	6
Mortara	5	87	6
Mortara	6		6
Mortara	7		6
Mortara	8		6
Mortara	9		6
Mortara	10		6
Mortara	11		5
Mortara	12	68	5
Mortara	13		7
Mortara	14	64	7
Mortara	15		7
Mortara	16		7
Mortara	17		7
Mortara	18	57	6
Mortara	19		6
Mortara	20	52	6
Mortara	21	51	6
Mortara	22		6
Mortara	23		5
Mortara	24		5
Mortara	25	37	5
Mortara	26		5
Mortara	27		5
Mortara	28		5
Mortara	29		5
Mortara	30		5
Mortara	31	22	5
Mortara	32		5
Mortara	33	15	5
Mortara	34	12	5
Mortara	35	8	5
Mortara	36	5	4

Tabella 10 Andamento carica della batteria e variazione delle posizioni gara di Santiago

Nella tabella sono evidenziati in rosso il giro in cui viene attivata la Attack Mode e in azzurro il giro in cui questa potenza extra termina (4 minuti è la durata di un Attack Mode e i piloti ne possono utilizzare 2 in tutto lo svolgimento della gara per un totale di 8 minuti di surplus di potenza del pacco batterie).

5.3.1 VISIONE SULLE POSIZIONI E I RELATIVI GRAFICI

L'andamento delle posizioni di Massa è stato leggermente decrescente con uno slittamento dalla 9° posizione alla 11°. Durante il 12° giro viene spinto contro le pareti da Rowland che gli causa danni alla monoposto e dopo un brusco calo di posizioni è costretto al ritiro.

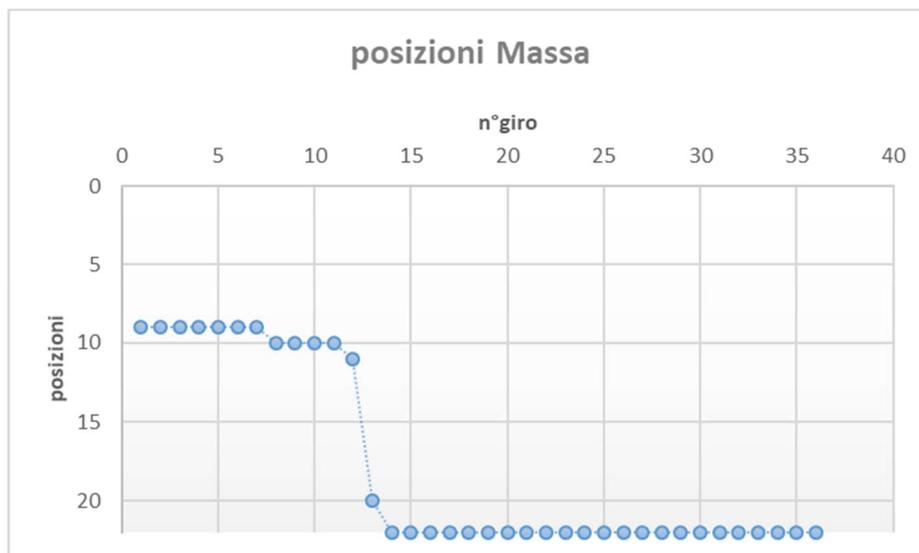


Grafico 21 Andamento posizioni in pista di Massa gara di Santiago

La performance di Mortara è positiva per questo E-prix poiché dopo una gara molto combattuta è riuscito a guadagnare 2 posizioni rispetto a quella iniziale. Bisogna sottolineare la bravura del pilota di evitare gli attacchi di Frijins tra i giri 28 e 31 in cui entrambi erano in regime di Attack Mode.

La costanza, la abilità, la resistenza ad evitare ogni attacco sono alcuni fattori che hanno determinato il mantenimento delle posizioni e un miglioramento nel finale.

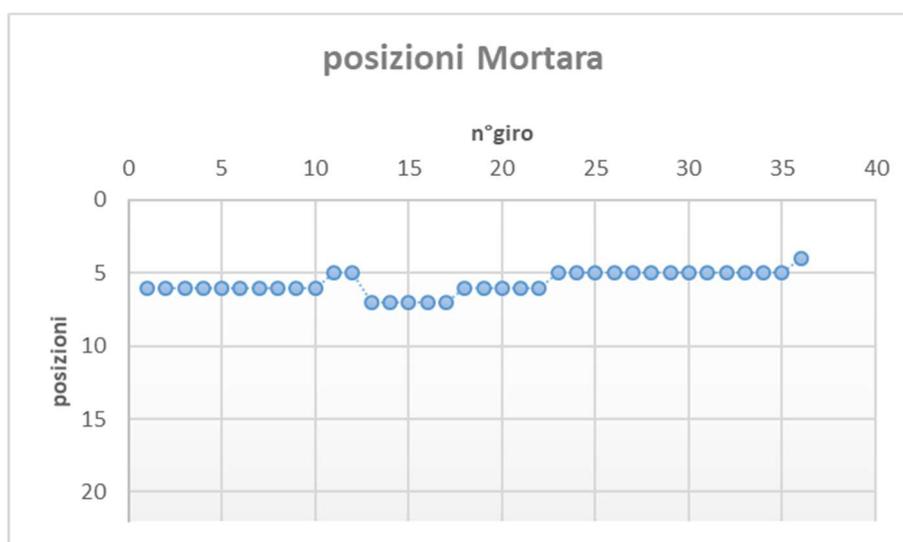


Grafico 22 Andamento posizioni in pista di Mortara gara di Santiago

5.3.2 DECRESCITA DI CARICA DELLE BATTERIE

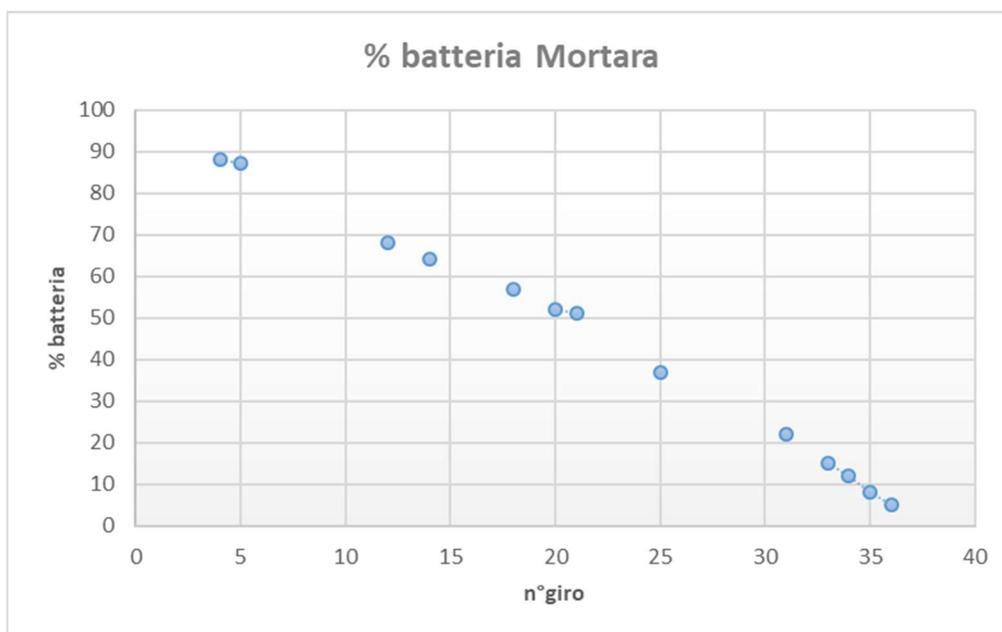


Grafico 23 Diminuzione delle batterie di Mortara gara di Santiago

A differenza delle precedenti gare (Parigi e Marrakesh), i dati ottenuti riguardo alla percentuale di carica delle batterie nel corso della gara sono maggiori e riescono a delineare un grafico maggiormente dettagliato.

Da una prima analisi del grafico si nota una leggera inclinazione della curva negli ultimi giri della gara rispetto ad una decrescita costante come nella parte iniziale, questo a significare un maggior consumo delle batterie e un aumento delle performance proprio negli ultimi episodi conclusivi della competizione.

Questa riserva di energia nel finale è stata gestita in modo ottimale nel corso della gara, visto che Mortara era costantemente, giro per giro il pilota con una percentuale di riserva di energia più alta rispetto agli avversari.

La pista ha un tracciato molto veloce, ha la curva più lunga e veloce di tutto il campionato (450m) ed è composto per la metà da cemento e l'altra metà da asfalto.

Mortara attiva il suo Attack Mode al giro 13 ma dopo appena 2 minuti i piloti si trovano in condizione di bandiera gialla quindi la seconda metà dell'ATM non può essere sfruttata.

La gara è la più calda di tutto il campionato e questo fattore viene ovviamente registrato dagli strumenti (49°C dell'asfalto, 37°C aria, 19% umidità) ma si ha un riscontro oggettivo anche dai commenti dei telecronisti e dalle immagini del pubblico disturbato da queste temperature elevate.

5.3.3 CONFRONTO TEMPERATURA E CARICA DELLA BATTERIA

Nel grafico sottostante è visibile l'andamento della temperatura atmosferica durante il corso della gara in cui la differenza tra massima e minima è molto contenuta.

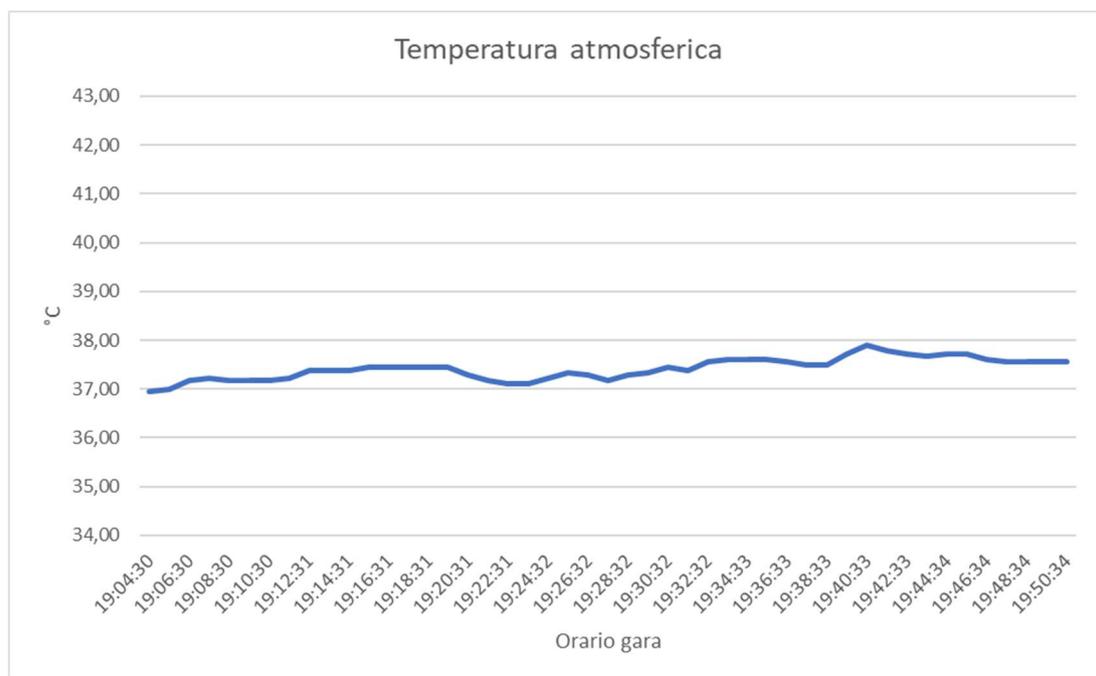


Grafico 24 Andamento della temperatura atmosferica gara di Santiago

Nel grafico sottostante è stato unito l'andamento della temperatura con la variazione delle batterie in percentuale, dove è molto complicato ricavare una relazione diretta tra diminuzione delle batterie stesse e la temperatura atmosferica.

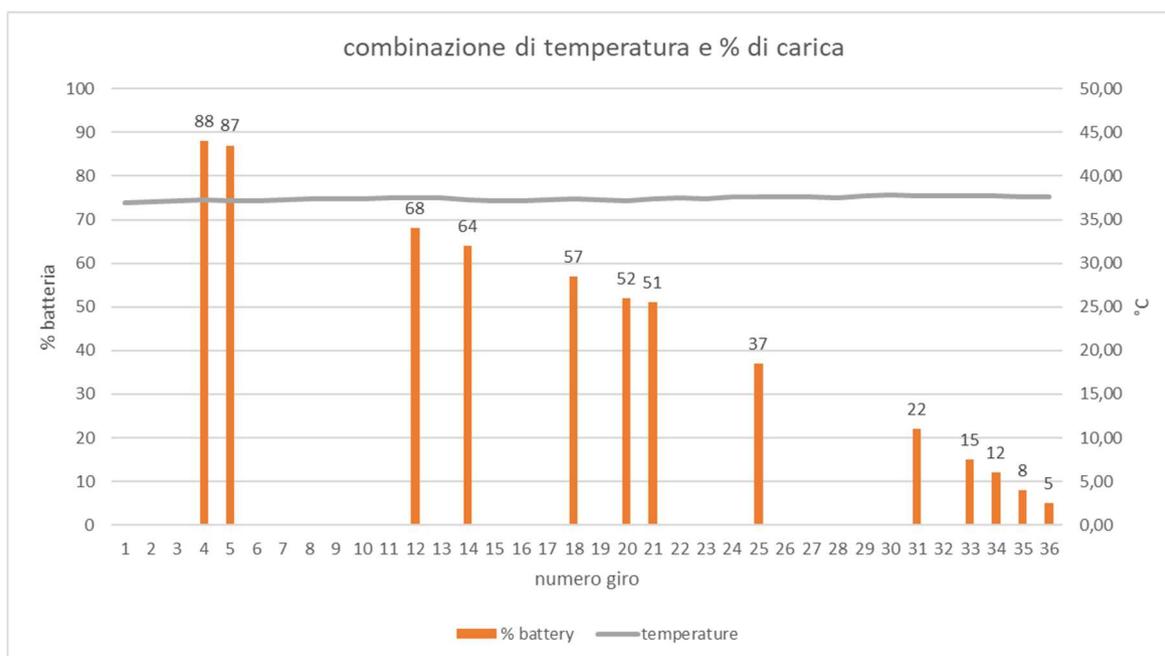


Grafico 25 Temperatura atmosferica e percentuale di carica delle batterie gara di Santiago

6. LE VELOCITA' DI PUNTA RELAZIONATE CON LE GARE PIU' CALDE E CON L'INGRESSO DELLA SAFETY CAR O CONDIZIONI DI BANDIERA GIALLA

In questo ultimo capitolo conclusivo della tesi è stato svolto uno studio riguardante le velocità di punta dei vari piloti in relazione a determinate condizioni di gara come l'ingresso della Safety Car in pista, a causa di incidenti, o condizioni di bandiera gialla.

Nelle tabelle seguenti sono inserite le velocità di punta registrate per ogni giro della gara relative ad ogni pilota e inoltre sono stati classificati in base all'ordine di arrivo. Le celle di colore giallo rappresentano i giri in cui sul circuito era presente la Safety Car o si era in condizioni di bandiera gialla. Le celle di colore arancione sono i giri seguenti al ritiro delle Safety Car e sono i giri presi in considerazione nello studio per verificare quanto la temperatura, le condizioni di Safety Car influiscono sulle performance, in particolare quanti giri impiegano i piloti per tornare ad esprimere il massimo potenziale della monoposto.

Le celle di colore verde sono i giri seguenti al ritiro delle Safety Car o condizioni di bandiera gialla in cui non ci è verificata una corrispondenza diretta tra temperatura atmosferica e diminuzione delle performance.

Le celle di colore viola rappresentano una gara in particolare (Sanya) in cui l'intervento umano ha prevenuto la diminuzione della performance nonostante le temperature elevate.

6.1 GARA DI MARRAKECH

La prima gara analizzata è Marrakech, la gara "simbolo" in cui si nota che la Safety Car fa il suo ingresso dal 27° giro al 30°. Durante questi giri le monoposto sono incolonnate, mantengono un ritmo di marcia molto lento e questo fa sì che si risparmi energia per sfruttarla durante l'ultimo giro in cui si ripresentano nuovamente le condizioni per gareggiare.

Dalle tabelle si nota che durante l'ultimo giro le velocità sono molto elevate, molti piloti hanno registrato il miglior giro veloce della gara toccando anche le velocità massime, il tutto giustificato dal fatto che l'energia accumulata nelle batterie è maggiore rispetto ad una gara tradizionale poiché durante i giri in Safety Car il consumo è molto basso e probabilmente le temperature relativamente basse (20°C) durante i 4 giri di velocità ridotta non hanno condizionato le performance dell'ultimo giro.

In media le velocità sono state elevate per tutto l'arco della gara, sicuramente giustificato dalla conformazione della pista formata da numerosi rettilinei, dalla presenza di pochi incidenti e da temperature molto costanti e non eccessivamente elevate o fredde.

D'AMBRO	KPH 31 giri	FRIJUS	KPH 31 giri	BIRD	KPH 31 giri	SIMS	KPH 31 giri	VERGNE	KPH 31 giri	LLOTTERE	KPH 31 giri		
1	115,8		1	117,2		1	120,3		1	119,4		1	110,2
2	128,4		2	128,6		2	129,4		2	129,3		2	127,4
3	129,1		3	129,3		3	129,5		3	129		3	127,4
4	129,3		4	129,5		4	129,2		4	127,9		4	129,5
5	129,2		5	129,1		5	128,8		5	128,8		5	128,8
6	129,2		6	128,7		6	128,3		6	128,9		6	128,5
7	127,8		7	128,7		7	128,5		7	128,9		7	129
8	127,8		8	128,3		8	128,1		8	128		8	128,4
9	128,5		9	128,1		9	127,5		9	127,7		9	126,6
10	128,4		10	127,1		10	126,8		10	127,1		10	127,6
11	126,9		11	126,9		11	125,7		11	127,4		11	128,9
12	127,7		12	128		12	128,3		12	128,5		12	128,4
13	128,4		13	128,1		13	127,8		13	128,6		13	129,1
14	128,3		14	127,8		14	127,9		14	128,6		14	129,7
15	127,4		15	128,6		15	126,5		15	128,5		15	130,3
16	128,6		16	127,7		16	127,2		16	128,4		16	128,1
17	128,9		17	126,4		17	127,3		17	128,6		17	127,5
18	128,8		18	128		18	127,6		18	129,4		18	127,6
19	129		19	129,2		19	129,5		19	128,4		19	127,8
20	129,1		20	130		20	129,9		20	130,4		20	129,5
21	128,3		21	128,4		21	128,3		21	128,8		21	129,3
22	128,3		22	127,7		22	128,1		22	127,2		22	128,3
23	129,1		23	128,8		23	128,1		23	127,9		23	128,9
24	128,3		24	129,4		24	130		24	128,3		24	130
25	129,9		25	129,8		25	130,1		25	127,3		25	128,8
26	128,5		26	127,4		26	127,1		26	123,2		26	128,3
27	119		27	118,9		27	118,5		27	117,9		27	116,2
28	66,6		28	66,8		28	66,7		28	66,8		28	67,2
29	66,6		29	66,6		29	66,7		29	66,7		29	66,8
30	75,3		30	75,2		30	75,4		30	75,7		30	75,9
31	128,8		31	130		31	130,3		31	130,4		31	131,8

DI GRASSI	KPH 31 giri	BUEMI	KPH 31 giri	EVANS	KPH 31 giri	ABT	KPH 31 giri	LOPEZ	KPH 31 giri	GUNTHER	KPH 31 giri		
1	115,0		1	110,6		1	113,3		1	113,8		1	108,6
2	128,6		2	127,5		2	125,3		2	128,1		2	126,7
3	129,0		3	126,2		3	126,2		3	128,7		3	125,8
4	129,3		4	128,4		4	127,2		4	128,3		4	127,4
5	129,3		5	128,7		5	128,2		5	128,0		5	127,6
6	129,4		6	127,4		6	128,8		6	128,9		6	127,5
7	129,2		7	128,3		7	128,5		7	128,4		7	128,7
8	128,2		8	128,4		8	127,8		8	128,3		8	130,7
9	128,4		9	128,5		9	128,5		9	128,0		9	130,5
10	127,8		10	127,9		10	128		10	128,2		10	126,9
11	127,0		11	128,1		11	127,6		11	129,4		11	128,0
12	127,8		12	129		12	126,7		12	127,6		12	128,7
13	128,3		13	129,3		13	127,9		13	127,3		13	129,3
14	126,7		14	128,9		14	129		14	126,5		14	129,6
15	127,8		15	127,8		15	129,3		15	127,2		15	128,6
16	128,3		16	128,8		16	129		16	128,0		16	127,2
17	129,4		17	128,3		17	128,4		17	126,6		17	126,7
18	129,0		18	128,1		18	128,5		18	127,3		18	127,1
19	128,6		19	129,1		19	128,6		19	128,6		19	128,1
20	129,2		20	129,4		20	129,1		20	128,0		20	128,3
21	128,3		21	129,3		21	129,3		21	128,3		21	127,8
22	128,0		22	129,1		22	128,5		22	128,1		22	127,1
23	127,1		23	128		23	129,6		23	127,8		23	127,6
24	128,1		24	129,3		24	129,5		24	128,4		24	127,2
25	126,9		25	129,1		25	129,3		25	128,5		25	127,9
26	128,4		26	129,4		26	128,6		26	128,3		26	128,3
27	114,1		27	114,2		27	116,9		27	118,5		27	110,3
28	67,4		28	67,4		28	67,3		28	67,4		28	72,0
29	66,8		29	67		29	66,9		29	67,0		29	66,3
30	75,7		30	75,8		30	76,1		30	76,1		30	77,1
31	133,2		31	132,8		31	132,7		31	131,9		31	130,9

MORTARA KPH 31 giri	PIQUET KPH 31 giri	ROWLANE KPH 31 giri	TURVEY KPH 31 giri	DILLMAN KPH 31 giri	MASSA KPH 31 giri
1 111,5	1 107,8	1 112,4	1 114,4	1 109,5	1 111,9
2 127	2 127,2	2 127,2	2 128,1	2 126,3	2 127,2
3 127,3	3 124,9	3 128,3	3 128,7	3 125,7	3 125,8
4 129	4 126,3	4 128,1	4 128,8	4 127,5	4 127,8
5 128,8	5 126,0	5 128,3	5 127,7	5 127,7	5 127,4
6 128,4	6 129,6	6 128,2	6 128,7	6 128,4	6 127,5
7 129,1	7 129,4	7 129,1	7 128,2	7 127,5	7 128,1
8 128,3	8 128,8	8 128	8 128,6	8 127,4	8 127,1
9 126,6	9 127,9	9 126,6	9 127,9	9 128,0	9 125,5
10 128,1	10 128,4	10 123,8	10 125,6	10 126,5	10 127,3
11 127,1	11 128,4	11 128	11 126,6	11 126,3	11 127,9
12 126,4	12 128,1	12 125,9	12 127,0	12 128,5	12 126,3
13 127	13 128,2	13 127,9	13 128,9	13 128,7	13 124,7
14 126,9	14 127,9	14 127,4	14 127,8	14 127,7	14 126,5
15 127,2	15 128,0	15 127,4	15 127,4	15 127,5	15 128,4
16 127,1	16 127,2	16 126,8	16 126,5	16 127,1	16 128,3
17 127,4	17 127,7	17 125,7	17 126,9	17 127,2	17 126,7
18 128,2	18 128,0	18 128,3	18 127,6	18 127,5	18 127,6
19 126,9	19 128,7	19 126,9	19 125,4	19 127,4	19 127,8
20 128	20 128,1	20 127,1	20 126,8	20 127,4	20 127,5
21 127,8	21 127,9	21 127,2	21 126,6	21 127,3	21 127,6
22 127,5	22 126,2	22 127,3	22 125,4	22 127,4	22 127,6
23 127,9	23 127,9	23 128	23 125,9	23 127,3	23 127,4
24 128,2	24 129,2	24 128,2	24 127,5	24 127,0	24 127,4
25 128,4	25 128,9	25 127,5	25 126,9	25 127,3	25 127,2
26 128,7	26 128,8	26 126,1	26 124,3	26 126,5	26 125,9
27 108,2	27 107,7	27 110,9	27 108,5	27 103,1	27 103,1
28 73,1	28 73,1	28 73,7	28 74,2	28 76,7	28 76,5
29 66,2	29 66,1	29 66,2	29 66,2	29 66,2	29 66,5
30 77,6	30 77,6	30 77,9	30 78,5	30 79,4	30 79,4
31 130,7	31 132,0	31 132	31 130,7	31 131,0	31 131,2

Tabella 11 Gara di Marrakech con condizioni di bandiera gialla e Safety Car

6.2 GARA DI SANTIAGO

Durante questa gara, al secondo giro viene indetta condizione di bandiera gialla, che dura soltanto per questo giro, e determina una ridotta diminuzione delle velocità. Questo influenza in maniera molto ridotta le velocità dei piloti per i giri successivi al ritiro della condizione.

Successivamente le velocità massime aumentano con lo scorrere della gara fino a giungere al 16° giro in cui si è nuovamente in condizioni di bandiera gialla per tutto il circuito e il tutto dura per 2 giri e un ritorno di questa condizione al giro 19 che rimane soltanto per questo giro.

Al termine del 19° giro i piloti impiegano 3 giri per portare le performance delle monoposto nuovamente a condizioni migliori. Questo probabilmente è determinato dalle temperature molto elevate (38°C) e da un surriscaldamento delle batterie stesse, condizionato dai giri in bandiera gialla la cui condizione è di viaggiare ad una velocità costante di 50 km/h e tutto ciò impedisce alle batterie di raffreddarsi nel modo adeguato.

Questa caratteristica si riscontra in modo molto accentuato in questa gara poiché è la più calda di tutta la stagione, la Safety Car rimane per numerosi giri, e il problema delle elevate temperature viene riscontrato in modo diretto oltre dagli strumenti ma anche dai piloti, dai telecronisti e dal pubblico.

BIRD	KPH 36 giri	WHERLEIN KPH 36 giri	ABT	KPH 36 giri	MORTARA KPH 36 giri	FRIJINS	KPH 36 giri	EVANS	KPH 36 giri	SIMS	KPH 36 giri
1	104,3	1 105	1	103,6	1 102,1	1	197,7	1	99,2	1	101,5
2	114,1	2 114,3	2	113,8	2 112,9	2	112,5	2	112,2	2	112,7
3	115,2	3 115,5	3	114,5	3 114,3	3	113,6	3	114	3	114,3
4	115	4 116,1	4	115,7	4 114,5	4	115,2	4	114,7	4	114,4
5	116	5 115,9	5	115,9	5 115,4	5	113,5	5	113,7	5	114,7
6	116	6 115,1	6	115,6	6 115,2	6	115,0	6	115,4	6	115,4
7	116,4	7 116,3	7	115,9	7 115,8	7	116,5	7	115,8	7	116,2
8	116,3	8 115,8	8	115,5	8 115,5	8	113,6	8	113,7	8	115,5
9	115,4	9 115,6	9	115,1	9 115,2	9	115,3	9	115,4	9	114,9
10	116,4	10 115,6	10	113,2	10 114,6	10	114,3	10	114,7	10	114,8
11	116,9	11 112,7	11	116,3	11 114,9	11	116,6	11	115,6	11	113,6
12	116,1	12 116,7	12	115,8	12 114,9	12	114,9	12	113,4	12	112,7
13	115,7	13 116	13	115,3	13 114,8	13	114,7	13	114,7	13	117,1
14	115,3	14 115,3	14	114,7	14 107,6	14	114,1	14	113,3	14	113,2
15	115,2	15 114,8	15	114,2	15 115,5	15	115,2	15	115,1	15	116,3
16	70,6	16 68,7	16	66,2	16 61,7	16	60,5	16	60,5	16	62,8
17	51,3	17 52,1	17	53,9	17 57	17	57,9	17	57,9	17	56,9
18	110,7	18 112,8	18	111,8	18 113,3	18	114,6	18	114,7	18	115,3
19	85,5	19 86,2	19	83,8	19 76,5	19	75,2	19	74,7	19	81,6
20	92,5	20 92,2	20	96,2	20 107,8	20	110,6	20	111,5	20	100,6
21	115,8	21 115,7	21	113,6	21 115,3	21	115,4	21	115,7	21	115,5
22	116,5	22 115,6	22	113,5	22 116,5	22	116,0	22	115,9	22	115,5
23	116,7	23 116,4	23	116,2	23 116,4	23	116,5	23	117	23	116,1
24	116,8	24 116,8	24	115,4	24 116,7	24	116,2	24	116,2	24	116,0
25	116,7	25 116,7	25	118,6	25 116,9	25	115,6	25	115,1	25	115,8
26	114,8	26 115,3	26	116,9	26 113	26	115,2	26	115,2	26	116,4
27	117,4	27 117,1	27	112,6	27 115,9	27	115,8	27	113,4	27	114,4
28	117,2	28 117,4	28	115	28 114	28	114,2	28	115,1	28	116,3
29	116,7	29 117,2	29	114,6	29 115,9	29	113,3	29	113,1	29	116,1
30	116,8	30 116,5	30	115	30 117,2	30	117,5	30	115,5	30	116,3
31	116,2	31 118,1	31	114,9	31 115,8	31	114,6	31	114,2	31	116,4
32	115,5	32 115,2	32	114,7	32 114	32	114,3	32	115,3	32	115,9
33	116,4	33 116,3	33	113,4	33 115,1	33	114,9	33	116,4	33	113,8
34	115,4	34 113,3	34	114,4	34 114,9	34	115,2	34	115,3	34	114,0
35	114,3	35 110,4	35	113,6	35 115,1	35	114,0	35	111	35	114,2
36	110,5	36 107,8	36	114,1	36 112,9	36	112,7	36	112,3	36	114,0

TURVEY	KPH 36 giri	LOPEZ	KPH 36 giri	D'AMBRO	KPH 36 giri	PIQUET	KPH 36 giri	DI GRASSI	KPH 36 giri	LOTTERE	KPH 36 giri
1	94,1	1	98,5	1	92,1	1	95,3	1	93,3	1	96,7
2	111,9	2	112,2	2	112,8	2	112,1	2	112,5	2	111,6
3	114,0	3	114,2	3	113,3	3	114,2	3	113,6	3	114,3
4	113,9	4	114,7	4	114,4	4	114,0	4	114,5	4	114,4
5	114,8	5	113,3	5	114,2	5	114,7	5	114,8	5	113,7
6	113,0	6	115,6	6	114,7	6	115,2	6	115	6	115
7	114,7	7	116,1	7	114,6	7	115,4	7	115,9	7	116
8	114,9	8	113,6	8	115,3	8	113,6	8	114,6	8	112,1
9	114,3	9	115	9	114,6	9	114,9	9	113,8	9	114
10	115,0	10	115,3	10	115,0	10	115,9	10	115,3	10	116,3
11	115,0	11	113,7	11	112,3	11	115,9	11	116,2	11	115,7
12	114,1	12	114,9	12	115,5	12	114,5	12	114,8	12	115,7
13	114,7	13	114,5	13	115,2	13	113,4	13	114	13	113,5
14	115,7	14	113,1	14	113,7	14	112,5	14	116,1	14	114,9
15	113,6	15	110,3	15	115,5	15	112,8	15	114,5	15	113,9
16	56,6	16	56,9	16	54,9	16	57,2	16	58	16	58,1
17	60,0	17	59,2	17	61,5	17	58,9	17	58,6	17	58,5
18	112,4	18	115	18	111,8	18	113,0	18	113,3	18	113,8
19	73,8	19	74,8	19	73,0	19	73,5	19	74,6	19	74,2
20	114,9	20	115,7	20	115,3	20	114,1	20	115,7	20	116
21	115,2	21	116,4	21	116,5	21	115,8	21	116,2	21	116,1
22	115,5	22	115,1	22	113,6	22	115,5	22	114,9	22	116,3
23	114,9	23	116,5	23	116,2	23	115,1	23	116,7	23	117,1
24	115,5	24	115,6	24	117,4	24	115,8	24	116,7	24	117,5
25	115,7	25	118	25	115,9	25	115,4	25	116,5	25	117,4
26	115,2	26	113,2	26	115,4	26	114,4	26	111	26	114,8
27	115,4	27	115,6	27	114,0	27	113,4	27	115,2	27	116,4
28	112,9	28	116,8	28	111,6	28	106,4	28	118,2	28	115,5
29	114,8	29	116,2	29	115,2	29	111,8	29	116,6	29	113,6
30	115,2	30	116,5	30	116,0	30	113,6	30	112,2	30	115,1
31	114,9	31	115,1	31	116,0	31	115,1	31	115,9	31	110,4
32	113,6	32	116,7	32	114,5	32	114,6	32	111,8	32	110,6
33	114,2	33	115,1	33	115,4	33	114,4	33	114,2	33	107,5
34	110,1	34	115,5	34	110,7	34	114,7	34	113,9	34	101,7
35	108,2	35	113,6	35	113,2	35	112,3	35	114,2	35	87,5
36	110,3	36	107,8	36	110,0	36	109,5	36	112,7	36	101,1

Tabella 12 Gara di Santiago con condizioni di bandiera gialla e Safety Car

6.3 GARA DI NEW YORK (2)

Durante la gara di New York la Safety Car fa la sua comparsa da 4° al 6° giro e in seguito al suo rientro i piloti impiegano all'incirca tre giri per ritornare a compire nuovamente giri veloci e toccare le velocità di punta consuete. Questa gara è anch'essa caratterizzata da temperature elevate (intorno ai 33 °C) e si verifica lo stesso fenomeno accaduto in Cile, dove a causa delle velocità ridotte le monoposto iniziano a risentire della temperatura atmosferica esterna e allo stesso tempo la componente elettrica inizia a surriscaldarsi, perciò appena si ritorna a consuete velocità di gara tutti i piloti necessitano di più giri per ottenere nuovamente la miglior performance.

Un ulteriore fattore che si può notare sono le velocità di punta molto simili per i vari piloti che hanno un leggero decremento nella fase conclusiva della gara questo probabilmente a causa della poca riserva di energia nelle batterie e delle costanti ed elevate temperature che possono portare ad un surriscaldamento delle componenti delle monoposto.

FRUJINS	KPH 36 giri	SIMS	KPH 36 giri	BUEMI	KPH 36 giri	BIRD	KPH 36 giri	ABT	KPH 36 giri	ROWLANC	KPH 36 giri
1	103.3		1 105.1		1 103,7		1 102,5		1 100.4		1 101.1
2	111.2		2 111.4		2 111,4		2 111,3		2 111.2		2 111.1
3	113.3		3 112.6		3 112,9		3 113		3 112.8		3 112.8
4	110.1		4 111.6		4 112,5		4 109,8		4 109.7		4 110.3
5	40.1		5 40.4		5 40		5 39,8		5 39.6		5 39.7
6	54.3		6 53.6		6 54		6 54,9		6 55.5		6 55.3
7	113.9		7 114.6		7 114		7 113,6		7 114.1		7 113.8
8	115.5		8 115.7		8 115,3		8 114,6		8 114.3		8 114.3
9	116.0		9 115.9		9 113,6		9 115,4		9 114.6		9 114.8
10	116.6		10 115.9		10 116,9		10 115,9		10 114.8		10 115.4
11	115.8		11 115.3		11 116,2		11 116,1		11 115.7		11 116.0
12	114.8		12 114.4		12 114,8		12 115		12 114.5		12 114.5
13	115.1		13 115.2		13 115,1		13 115,4		13 115.1		13 114.4
14	115.5		14 115.1		14 115,4		14 115,8		14 115.5		14 115.0
15	115.2		15 114.9		15 115,1		15 115,6		15 115.1		15 115.4
16	114.6		16 114.5		16 114,9		16 115		16 115.7		16 115.8
17	113.6		17 111.5		17 112,2		17 112,4		17 114.7		17 115.3
18	115.5		18 114.9		18 115,2		18 115,3		18 114.6		18 114.7
19	115.1		19 114.9		19 115		19 114,8		19 115.7		19 114.8
20	115.3		20 115.9		20 115,7		20 115,7		20 115.6		20 115.5
21	116.1		21 116.5		21 116,3		21 115,9		21 116.0		21 115.8
22	116.5		22 116.7		22 116,1		22 116		22 114.8		22 112.2
23	116.8		23 116.2		23 115,8		23 115,9		23 117.1		23 114.2
24	115.6		24 115.1		24 115,8		24 115,9		24 116.3		24 115.3
25	115.1		25 114.9		25 115,5		25 115,8		25 115.6		25 114.0
26	115.0		26 114.4		26 114,4		26 114,6		26 115.4		26 115.2
27	115.1		27 115.0		27 113,9		27 113,8		27 114.3		27 115.4
28	115.2		28 115.1		28 115,7		28 115,5		28 115.4		28 115.6
29	115.0		29 115.1		29 115,4		29 115,7		29 115.9		29 115.8
30	115.0		30 114.2		30 115,1		30 115,1		30 115.0		30 115.3
31	115.1		31 113.8		31 113		31 113,1		31 113.2		31 115.2
32	115.3		32 114.3		32 114,7		32 114,6		32 114.4		32 115.0
33	114.9		33 114.0		33 113,8		33 113,7		33 114.0		33 115.0
34	115.2		34 115.1		34 114,9		34 114,9		34 114.6		34 114.4
35	115.0		35 115.1		35 115,3		35 115,3		35 115.5		35 115.2
36	113.1		36 115.2		36 114,9		36 115		36 115.1		36 112.7

VERGNE	KPH 36 giri	VANDOO KPH 36 giri	DA COSTA KPH 36 giri	PAFFET	KPH 36 giri	D'AMBRO KPH 36 giri	WHERLEIN KPH 36 giri
1	97,4	1 101,7	1 91,6	1 99,0	1 89,7	1 90,6	
2	111,4	2 111,3	2 111	2 111,5	2 110,3	2 109,8	
3	113	3 113,3	3 110,7	3 113,3	3 111,7	3 112,1	
4	108	4 111,9	4 109	4 109,2	4 102,0	4 102,0	
5	39,2	5 39,8	5 39,8	5 39,4	5 40,3	5 40,5	
6	56,6	6 54,7	6 57,5	6 56,1	6 58,5	6 58,1	
7	114	7 114	7 114,3	7 113,4	7 114,1	7 113,8	
8	114,4	8 114,4	8 114,1	8 114,1	8 114,5	8 114,4	
9	115,3	9 113,6	9 114,7	9 115,2	9 114,9	9 115,0	
10	115,6	10 115,3	10 115,4	10 114,9	10 115,2	10 115,3	
11	115,2	11 115,6	11 115	11 114,9	11 114,6	11 114,8	
12	114,8	12 113,6	12 114,6	12 112,7	12 115,2	12 115,2	
13	115	13 114,5	13 114,8	13 114,9	13 115,5	13 115,2	
14	113,8	14 113,6	14 114,2	14 113,9	14 113,0	14 113,0	
15	114,8	15 115,6	15 115,9	15 114,5	15 115,4	15 115,5	
16	115,3	16 115,4	16 116,1	16 114,4	16 115,3	16 115,5	
17	113,1	17 115	17 114,8	17 114,2	17 115,1	17 115,2	
18	115,3	18 114,8	18 115,5	18 115,3	18 115,6	18 115,2	
19	114,1	19 115,4	19 113	19 113,7	19 114,2	19 114,1	
20	116,6	20 115,6	20 114,3	20 114,7	20 114,4	20 114,6	
21	116,2	21 113,8	21 115,8	21 115,0	21 115,4	21 115,2	
22	115,1	22 114,2	22 114,8	22 114,8	22 115,0	22 114,9	
23	115,3	23 115,1	23 115,4	23 114,8	23 114,6	23 114,8	
24	115	24 113,6	24 115,9	24 114,6	24 114,9	24 114,7	
25	115,4	25 115,2	25 115,9	25 114,8	25 114,3	25 114,8	
26	115,5	26 115,1	26 115,8	26 115,9	26 115,8	26 115,2	
27	115,8	27 114	27 114,3	27 115,6	27 114,6	27 115,1	
28	116,7	28 115,1	28 114,7	28 115,2	28 114,8	28 112,8	
29	115,4	29 114,5	29 115	29 115,3	29 115,1	29 114,8	
30	114,9	30 114,8	30 114,8	30 115,1	30 113,5	30 110,9	
31	114,6	31 115	31 114,6	31 114,9	31 114,2	31 112,5	
32	114,4	32 115	32 115,2	32 115,4	32 113,9	32 113,8	
33	115,1	33 115,1	33 115,1	33 115,2	33 114,4	33 112,5	
34	115,3	34 115,5	34 114,7	34 115,0	34 114,3	34 114,2	
35	115	35 115,7	35 114	35 114,6	35 114,1	35 112,8	
36	112,9	36 114,3	36 114,6	36 114,6	36 113,4	36 110,1	

TURVEY	KPH 36 giri	DILLMANN KPH 36 giri	MASSA KPH 36 giri	LYNN KPH 36 giri	EVANS KPH 36 giri
1	91,7	1 92,6	1 89,1	1 75,8	1 99,8
2	110,9	2 110,0	2 109,8	2 104,7	2 111,5
3	109,7	3 88,3	3 112,1	3 112,0	3 112,9
4	106,4	4 109,8	4 98	4 108,3	4 109,2
5	39,9	5 111,2	5 40,6	5 42,5	5 39,6
6	57,9	6 95,7	6 59,3	6 59,9	6 55,7
7	114,1	7 41,0	7 113,6	7 113,5	7 114
8	114,2	8 59,6	8 113,9	8 114,1	8 114,3
9	114,8	9 113,8	9 115,5	9 114,9	9 114,7
10	114,9	10 113,6	10 114,8	10 115,0	10 114,9
11	112,4	11 115,6	11 113,9	11 114,2	11 115,7
12	114,4	12 114,6	12 114,7	12 114,6	12 114,5
13	114,7	13 114,1	13 114,7	13 114,4	13 114,9
14	114,2	14 114,7	14 114,5	14 114,0	14 113,2
15	111,3	15 114,5	15 113,6	15 112,7	15 115,3
16	113,8	16 114,1	16 114,5	16 114,9	16 115,4
17	114,6	17 113,2	17 114,4	17 115,1	17 115,3
18	114,5	18 114,0	18 115,3	18 114,9	18 115,5
19	114,1	19 113,7	19 115,3	19 115,7	19 115,5
20	115,1	20 114,9	20 115,6	20 116,3	20 115,3
21	114,9	21 115,0	21 115,9	21 116,4	21 116,1
22	114,7	22 114,8	22 115,8	22 115,9	22 114,4
23	114,6	23 114,9	23 115,4	23 115,3	23 116,5
24	114,5	24 114,8	24 115,2	24 115,8	24 116,1
25	114,5	25 114,5	25 113,2	25 113,5	25 116,2
26	114,7	26 114,7	26 114,3	26 114,4	26 115,8
27	114,9	27 114,0	27 114,3	27 114,1	27 115,7
28	115,1	28 114,7	28 113,7	28 113,7	28 115,6
29	114,9	29 114,1	29 115,1	29 114,9	29 115,7
30	114,0	30 115,7	30 113,7	30 113,9	30 115,1
31	112,9	31 114,3	31 110,1	31 111,6	31 113,1
32	113,6	32 114,0	32 114,3	32 115,7	32 114,5
33	114,0	33 114,3	33 114,2	33 114,6	33 113,9
34	114,2	34 113,6	34 114,3	34 115,9	34 114,3
35	113,3	35 114,1	35 113,2	35 116,6	35 115,6
36	111,0	36 114,0	36 108,6	36 115,1	36 87,7

Tabella 13 Gara di New York con condizioni di bandiera gialla e Safety Car

6.4 GARA DI SANYA

La gara di Sanya, competizione che si è svolta nel circuito cittadino cinese, è stata presa in considerazione poiché rappresenta anche essa una delle gare più calde della stagione (28,6 °C), e in seguito alla sua analisi, è stato riscontrato un fatto anomalo per questo genere di competizioni.

Per tutto il corso della gara, fino al termine del 23° giro in cui entra in pista la Safety Car non si sono verificate interruzioni o incidenti. La Safety Car fa il suo ingresso in pista per colpa di un incidente ma a causa dell'impossibilità di rimuovere la vettura danneggiata viene indetta bandiera rossa quindi un rientro forzato ai box dei piloti.

Le monoposto rimangono ai box per 15 minuti circa per poi continuare la gara dal 26° giro. Al seguito di questa "seconda" partenza i piloti impiegano solamente 1 giro per ottenere nuovamente il massimo delle performance, tutto questo giustificato dal fatto che durante la sosta ai box i meccanici hanno raffreddato le batterie e mantenuto in temperatura ottimale tutta la meccanica delle vetture.

Questo appuntamento del campionato, nonostante rappresenta una delle gare più calde studiate, è stato fondamentale svilupparlo poiché ci si trova in presenza di un fatto straordinario dato dal fatto che è presente un impatto diretto dei meccanici e delle attrezzature di raffreddamento ai box.

Perciò anche se le macchine rimangono ferme ai box per circa 15 minuti, sono raffreddate e con il nuovo ingresso in pista possono manifestare le performance già dai primi giri di pista.

VERGNE	KPH 36 giri	ROWLANE KPH 36 giri	DA COSTA KPH 36 giri	LOTTEREI KPH 36 giri	ABT KPH 36 giri	D'AMBRO KPH 36 giri	WHERLEIN KPH 36 giri
1	77,8	1 78,1	1 78,1	1 76,6	1 77,6	1 76,3	1 75,4
2	115,2	2 114,7	2 115,5	2 115,7	2 115,9	2 113,5	2 114,2
3	116,7	3 116,8	3 116,5	3 117,7	3 117	3 116,4	3 116
4	117,6	4 117,5	4 117,7	4 116,9	4 117,6	4 116,9	4 116,9
5	118,2	5 118	5 118,1	5 117,9	5 118,1	5 117,6	5 117,8
6	117,7	6 117,7	6 117,8	6 118,7	6 117,7	6 116,9	6 117,3
7	118	7 118,5	7 118,1	7 118,3	7 117,9	7 118,4	7 118
8	118,4	8 117,8	8 118,5	8 118,9	8 118,5	8 118,6	8 117,7
9	118,7	9 118,7	9 118,6	9 118,8	9 118,3	9 118,2	9 117,6
10	118,4	10 118,5	10 118,4	10 119,1	10 118,6	10 117,6	10 118,2
11	118,1	11 118,1	11 118	11 116,7	11 118,2	11 115,3	11 117,6
12	117,4	12 117,5	12 117,1	12 118,1	12 117,3	12 118,4	12 118
13	118,2	13 118,3	13 118,4	13 118,9	13 118,1	13 118,6	13 113,9
14	118,5	14 118,4	14 118,7	14 118,7	14 118,4	14 117,8	14 117,6
15	118,3	15 118,3	15 118,2	15 118,1	15 118,3	15 118,1	15 118,1
16	118,4	16 118,5	16 118,6	16 118,8	16 118,7	16 117,8	16 116,3
17	118,6	17 118,5	17 118,3	17 118,4	17 118,4	17 117,8	17 117,9
18	118,2	18 118,3	18 118,4	18 118,5	18 118,4	18 118,4	18 118
19	118,9	19 117,6	19 118,5	19 118,3	19 118,4	19 118,2	19 118
20	117,8	20 115,4	20 115,6	20 115,5	20 115,4	20 117,5	20 118,3
21	113,6	21 115,3	21 115,2	21 116,1	21 115,3	21 117,8	21 117,8
22	118,4	22 117,9	22 118,1	22 115,9	22 117,7	22 117,7	22 117,7
23	117,3	23 115,4	23 114,8	23 113,5	23 114,5	23 109,2	23 107,3
24	49,1	24 49,1	24 49	24 49,3	24 49	24 49,8	24 50,7
25	43	25 42,6	25 42,2	25 41,5	25 41,8	25 40,7	25 40,4
26	9,2	26 9,2	26 9,3	26 9,3	26 9,3	26 9,4	26 9,4
27	119,1	27 119,3	27 119,3	27 120	27 119,4	27 118,4	27 118,2
28	120,7	28 120,9	28 120,8	28 120,6	28 120,6	28 119,9	28 120
29	119	29 119,5	29 119,4	29 119,9	29 118,1	29 118	29 119
30	120	30 119,9	30 119,5	30 120	30 120,3	30 120	30 119,7
31	119	31 119,2	31 119	31 118,8	31 118,5	31 119,3	31 119,8
32	120,4	32 120,2	32 120,4	32 120,5	32 120,3	32 119,9	32 119,9
33	120	33 119,9	33 120,2	33 120,3	33 120,7	33 120,9	33 120,5
34	121	34 120,4	34 120,4	34 120,3	34 120,4	34 120,4	34 120,5
35	121,4	35 120,8	35 120,7	35 120,3	35 120,3	35 119,5	35 119
36	69,9	36 69,6	36 69,2	36 68,9	36 68,4	36 64,6	36 64,5

BUEMI	KPH 36 giri	EVANS KPH 36 giri	MASSA KPH 36 giri	TURVEY KPH 36 giri	DILLMANN KPH 36 giri	MORTARA KPH 36 giri
1	70,4	1 75,9	1 75,6	1 75,8	1 75,8	1 75,6
2	116,5	2 113,8	2 114,5	2 114,4	2 114,1	2 114,9
3	117,9	3 115,3	3 115,6	3 115,5	3 115,5	3 116,1
4	118,9	4 116,5	4 116,7	4 116,4	4 116,4	4 116,0
5	119,1	5 116,9	5 117,4	5 116,5	5 116,3	5 117,6
6	117,9	6 116,4	6 117,4	6 116,9	6 116,9	6 117,7
7	116,4	7 116,9	7 118	7 117,0	7 117,1	7 117,7
8	121,1	8 115,5	8 115,8	8 116,7	8 116,6	8 118,4
9	119	9 117,8	9 118,4	9 116,2	9 116,3	9 117,8
10	119,4	10 117,9	10 118,4	10 117,2	10 112,6	10 117,6
11	118,5	11 118,5	11 117,4	11 116,1	11 114,9	11 118,4
12	119,3	12 116,9	12 118,2	12 115,3	12 118,8	12 118,8
13	116,9	13 118,6	13 115,3	13 112,4	13 116,6	13 118,4
14	117,7	14 118,7	14 115,5	14 114,0	14 117,1	14 118,3
15	118,8	15 118,1	15 118	15 118,2	15 118,0	15 117,7
16	117,6	16 118	16 117,8	16 117,6	16 117,4	16 117,7
17	118,7	17 118	17 117,8	17 117,3	17 117,8	17 118,0
18	118,8	18 116,4	18 117,9	18 116,9	18 116,6	18 118,0
19	118,9	19 119,4	19 118,1	19 117,0	19 116,8	19 117,8
20	118,9	20 119,3	20 118,3	20 116,4	20 116,6	20 117,5
21	119,2	21 117,7	21 118,1	21 116,7	21 116,9	21 117,8
22	119,1	22 117,9	22 117,3	22 116,2	22 116,7	22 117,9
23	108,6	23 106,1	23 106	23 90,7	23 90,1	23 110,0
24	49,9	24 51	24 51,1	24 59,0	24 58,7	24 49,7
25	40,5	25 39,5	25 39,9	25 38,4	25 39,1	25 41,1
26	9,4	26 9,5	26 9,5	26 9,6	26 9,5	26 9,4
27	118,6	27 117,6	27 118,6	27 116,8	27 114,8	27 118,2
28	120	28 121,2	28 119,9	28 119,4	28 119,6	28 120,1
29	120,1	29 119	29 118,8	29 117,3	29 117,8	29 119,8
30	120,5	30 119,6	30 119,6	30 121,1	30 120,8	30 119,7
31	120,8	31 118,8	31 117	31 120,4	31 120,6	31 117,8
32	119,8	32 120,8	32 120,2	32 119,8	32 119,5	32 120,4
33	120,9	33 120,7	33 120,3	33 119,1	33 119,5	33 120,9
34	120,4	34 121	34 120,5	34 119,9	34 119,7	34 120,1
35	119	35 119,3	35 120,2	35 119,7	35 119,4	35 117,9
36	67,9	36 63,6	36 60,8	36 60,4	36 60,1	36 62,5

Tabella 14 Gara di Sanya con condizioni di bandiera gialla e Safety Car

CONCLUSIONI

Il lavoro di questi capitoli ha lo scopo principale di riportare un'ampia panoramica sulle temperature registrate nell'arco della gara per scovare una relazione con un miglioramento o un peggioramento delle velocità dei piloti, dei loro tempi sul giro e come conseguenza la posizione finale quando si taglia la linea del traguardo.

Analizzando i capitoli iniziali della tesi e al seguito dello studio dei dati di queste 3 gare (Marrakech, Santiago e Parigi) nello specifico è pressoché nulla una relazione tra performance e temperatura o una influenza dell'una sull'altra. Inoltre i delta di differenza tra i °C sono molto bassi (3,72°C) e quindi quasi ininfluenti sulle componenti delle monoposto e come ultimo elemento le gare hanno una durata molto breve (50 minuti circa) dove la temperatura dell'aria non ha modo di avere dei grandi cambiamenti.

Successivamente sono stati aggiunti ulteriori elementi come lo studio della relazione tra il consumo delle batterie durante la gara e la temperatura, dove a causa della scarsità dei dati della percentuale delle batterie non si è in grado di fornire una spiegazione molto dettagliata ma il lavoro ha portato alla scoperta di una buona relazione tra l'utilizzo degli Attack Mode, la carica delle batterie e una determinata strategia da adottare in pista in base al tipo di circuito.

In un ultimo capitolo conclusivo sono stati invece uniti tutti gli elementi precedentemente studiati insieme a determinate condizioni in pista quali la presenza di condizione di bandiera gialla e Safety Car. Studiando in modo approfondito questa condizione unita alle gare che presentano una temperatura assoluta più elevata di tutto il campionato, si riesce a constatare che è presente una relazione tra la temperatura atmosferica e la performance delle monoposto. Come affermato in precedenza, durante le gare più calde, se sono presenti queste condizioni in pista di bandiera gialla o Safety Car causano un rallentamento forzato dei piloti con un conseguente surriscaldamento della Power Unit. Tutto ciò causa una brusca diminuzione delle performance che, per ritornare ai regimi ottimali necessitano di più giri rispetto a gare in cui la temperatura atmosferica è più contenuta o meglio se si avvicina alla temperatura di 20°C ovvero i gradi ottimali.

Come dimostrato in precedenza nelle gare in cui è presente questa temperatura ottimale le prestazioni rimangono molto costanti durante tutta la gara, non si notano grandi sbalzi e variazioni di performance nonostante siano presenti condizioni particolari di gara. Tutto quanto è ribaltato quando le temperature aumentano e di conseguenza anche le performance subiscono

variazioni soprattutto durante bandiera gialla o durante Safety Car e impiegano molto più tempo per tornare ai regimi iniziali.

Questo studio può essere applicato in concreto durante le competizioni di Formula-E in cui sono presenti temperature elevate e soprattutto se si verificano condizioni particolari di bandiera gialla o Safety Car. Si può ipotizzare una relazione tra le temperature ambientali in determinate condizioni e le prestazioni della Power Unit, che potrebbe essere analizzata come base di sviluppo dei sistemi di raffreddamento.

Quindi da un punto di vista pratico e concreto è fondamentale continuare a sviluppare, migliorare i sistemi di raffreddamento durante la progettazione delle auto stagione per stagione, invece da un punto di vista strategico preparare una soluzione apposita nel caso di queste condizioni di temperatura elevata, Safety Car e quindi una soluzione per fronteggiare la diminuzione delle performance.

BIBLIOGRAFIA

- https://it.wikipedia.org/wiki/Formula_E)
- <https://it.dplay.com/motor-trend/l-impero-delle-macchine/stagione-3-episodio-6-la-supercar/>
- <http://fiaformulae.alkamelsystems.com/redirect.php>
- <https://it.wikipedia.org/wiki/E-Prix>)

ELENCO TABELLE

Tabella 1	Temperature massime, medie, minime per le 13 gare della stagione	7
Tabella 2	Risultati giro veloce, velocità, temperatura gara di Marrakech	12
Tabella 3	Relazione tra giro veloce, velocità di punta e ordine di arrivo gara di Marrakech	13
Tabella 4	Risultati giro veloce, velocità e temperatura gara di Parigi	16
Tabella 5	Relazione tra giro veloce, velocità di punta e ordine di arrivo gara di Parigi	17
Tabella 6	Risultati giro veloce, velocità e temperatura gara di Santiago.....	20
Tabella 7	Relazione tra giro veloce, velocità di punta e ordine di arrivo gara di Santiago.....	21
Tabella 8	Andamento carica della batteria e variazione delle posizioni gara di Marrakech.....	23
Tabella 9	Andamento carica della batteria e variazione delle posizioni gara di Parigi.....	28
Tabella 10	Andamento carica della batteria e variazione delle posizioni gara di Santiago	33
Tabella 11	Gara di Marrakech con condizioni di bandiera gialla e Safety Car	39
Tabella 12	Gara di Santiago con condizioni di bandiera gialla e Safety Car	40
Tabella 13	Gara di New York con condizioni di bandiera gialla e Safety Car.....	42
Tabella 14	Gara di Sanya con condizioni di bandiera gialla e Safety Car.....	44

ELENCO GRAFICI

Grafico 1 Temperature massime, minime e medie delle 13 gare della stagione.....	7
Grafico 2 Temperature medie delle 13 gare della stagione.....	9
Grafico 3 Andamento della temperatura atmosferica gara di Marrakech.....	11
Grafico 4 Istogramma delle velocità massime di ogni pilota nella gara di Marrakech	12
Grafico 5 Andamento della temperatura atmosferica gara di Parigi	15
Grafico 6 Istogramma delle velocità massime di ogni pilota nella gara di Parigi.....	16
Grafico 7 Andamento della temperatura atmosferica gara di Santiago	19
Grafico 8 Istogramma delle velocità massime di ogni pilota nella gara di Santiago	20
Grafico 9 Andamento posizioni in pista di Massa gara di Marrakech	24
Grafico 10 Andamento posizioni in pista di Mortara gara di Marrakech.....	24
Grafico 11 Diminuzione delle batterie di Massa gara di Marrakech	25
Grafico 12 Diminuzione delle batterie di Mortara gara di Marrakech	25
Grafico 13 Andamento della temperatura atmosferica gara di Marrakech.....	27
Grafico 14 Temperatura atmosferica e percentuale di carica delle batterie gara di Marrakech	27
Grafico 15 Andamento posizioni in pista di Massa gara di Parigi	29
Grafico 16 Andamento posizioni in pista di Mortara gara di Parigi	29
Grafico 17 Diminuzione delle batterie di Massa gara di Parigi.....	30
Grafico 18 Diminuzione delle batterie di Mortara gara di Parigi.....	30
Grafico 19 Andamento della temperatura atmosferica gara di Parigi	32
Grafico 20 Temperatura atmosferica e percentuale di carica delle batterie gara di Parigi.....	32
Grafico 21 Andamento posizioni in pista di Massa gara di Santiago	34
Grafico 22 Andamento posizioni in pista di Mortara gara di Santiago	34
Grafico 23 Diminuzione delle batterie di Mortara gara di Santiago.....	35
Grafico 24 Andamento della temperatura atmosferica gara di Santiago	36
Grafico 25 Temperatura atmosferica e percentuale di carica delle batterie gara di Santiago	36

RINGRAZIAMENTI

Ringrazio la mia relatrice Alessandra Canepa e i miei correlatori Gianluca Rosso e Luca Malfatti, il cui aiuto è stato fondamentale per la stesura di questa tesi di laurea.

Un ringraziamento speciale a Valerio Amadio “test & prototype engineering manager” presso Rokit Venturi Racing per le informazioni fornite utili alla stesura dell’elaborato.

Ringrazio i miei genitori, mia sorella per l’aiuto e il costante sostegno durante gli anni universitari, un ringraziamento speciale va ai nonni che si sono sempre interessati e preoccupati per i miei studi e per il buon esito del corso di laurea.

Infine un ringraziamento è dedicato a tutti i miei amici, ai tutti i compagni di corso con cui ho trascorso tre anni indimenticabili.