

**Università degli Studi di Padova**

DIPARTIMENTO DI MATEMATICA "TULLIO LEVI-CIVITA"

CORSO DI LAUREA MAGISTRALE IN INFORMATICA



**Modellazione di un modello Bradley-Terry  
per l'individuazione delle variabili  
significative per l'esito di una partita di  
calcio nella Serie A italiana**

*Tesi di laurea magistrale*

*Relatore*

Prof. Annamaria Guolo

*Laureando*

Federico Perin

---

ANNO ACCADEMICO 2022-2023



# ABSTRACT

---

Come sappiamo viviamo nell'era dei cosiddetti *Big Data*, dove grazie all'interconnessione; un grande flusso di informazioni e di dati può essere ricavato da ogni possibile attività.

Non fa eccezione il calcio in cui da un paio d'anni, le società calcistiche si affidano a sistemi di analisi per produrre tattiche di gioco ma anche per effettuare *scouting* di giocatori emergenti. Nel calcio moderno perciò, numerose variabili ad esempio il possesso palla, il numero di tiri effettuati da una squadra ecc. vengono raccolte durante una partita di calcio.

Tale fatto scaturlisce l'attenzione su un'ulteriore tematica d'analisi: dato che si hanno a disposizione un gran numero di dati sulle prestazioni delle squadre nelle loro partite, è possibile individuare quali variabili vanno ad influenzare in modo significativo il successo o il fallimento sportivo delle singole squadre?

Da questo quesito nasce la tesi qui presentata che ha come obiettivo di presentare un'analisi che prova a rispondere a tale quesito, attraverso l'utilizzo di tecniche di *Data Mining*, in particolare lo sfruttamento di un modello a comparazione a coppie per le partite di calcio che sia in grado di tenere conto delle covariate specifiche per le partite. Nella nostra analisi tale modello sarà il *Bradley-Terry model*, il quale verrà esteso includendo possibili covariate significative e l'utilizzo di valori di risposta ordinati. Lo studio prenderà in considerazione i dati relativi alle partite della Serie A italiana della stagione 2021/2022.

TO DO + POSSIBLE ADDITIONS



*“If something’s important enough, you should try. Even if the probable outcome is failure.”*

— Elon Musk

# RINGRAZIAMENTI

---

*Innanzitutto, vorrei esprimere la mia gratitudine al Prof. Annamaria Guolo, relatrice della mia tesi, per l’aiuto ed il sostegno fornitomi durante tutto il lavoro.*

*Desidero ringraziare con affetto i miei genitori per il sostegno, per il grande aiuto che mi hanno dato e per essermi stati vicini in ogni momento durante gli anni di studio.*

*Voglio inoltre ringraziare i miei amici per questi tre bellissimi anni trascorsi assieme e per avermi sempre sostenuto anche nei momenti più difficili.*

*Padova, Febbraio 2023*

Federico Perin



# INDICE

---

<b>1</b>	<b>Introduzione</b>	<b>1</b>
1.1	Dominio del problema . . . . .	1
1.2	Applicazione . . . . .	1
1.3	Tecnologie e Tools usati . . . . .	1
1.3.1	Tecnologie . . . . .	1
1.3.2	Tools . . . . .	1
1.4	Motivazioni personali . . . . .	1
1.5	Struttura della tesi . . . . .	1
<b>2</b>	<b>Serie A 2021/2022 dataset</b>	<b>3</b>
2.1	Serie A 2021/2022 . . . . .	3
2.1.1	Ranking . . . . .	3
2.2	Costruzione del dataset . . . . .	3
2.3	Struttura del dataset . . . . .	5
2.3.1	Dati generali . . . . .	6
2.3.2	Dati relativi ai tiri . . . . .	8
2.3.3	Dati relati al possesso . . . . .	8
2.3.4	Dati relativi ai passaggi . . . . .	12
2.3.5	Dati difensivi . . . . .	14
<b>3</b>	<b>Analisi dei dati</b>	<b>19</b>
3.1	Preprocessing dei dati . . . . .	19
3.2	Analisi grafica dei dati . . . . .	19
3.2.1	Analisi relazione tra variabile risposta e covariate . . . . .	22
3.2.2	Analisi relazioni tra covariate . . . . .	30
3.2.3	Collinearità . . . . .	38
3.3	Adattamento dataset al modello . . . . .	40
3.3.1	Implementazione dell'adattamento del dataset . . . . .	40
<b>4</b>	<b>Modeling Paired Comparisons</b>	<b>43</b>
4.1	Il Bradley-Terry Model . . . . .	43
4.2	Il Bradley-Terry Model con ordered response categories . . . . .	44
4.3	Il Bradley-Terry Model con variabili esplicative . . . . .	45
4.3.1	Il Bradley-Terry Model con effetto partite in casa . . . . .	46
<b>5</b>	<b>Appendice A</b>	<b>47</b>
5.1	Codice di adattamento dataset per il trasferimento dati . . . . .	47
5.2	Codice per la creazione del data.frame Team . . . . .	48
5.3	Codice per la creazione del data.frame Vs . . . . .	48
<b>6</b>	<b>Conclusioni</b>	<b>49</b>

**Bibliografia****51****Sitografia****53**



# ELENCO DELLE FIGURE

---

2.1	Logo di FBref. . . . .	5
2.2	Rappresentazione del fuorigioco . . . . .	7
2.3	In rosso l'area di rigore in un campo da calcio. . . . .	9
2.4	In rosso la mediana nel campo da calcio. . . . .	10
2.5	In rosso il centrocampo nel campo da calcio. . . . .	11
2.6	In rosso la trequarti dell'avversario nel campo da calcio. . . . .	11
2.7	Esecuzione di un passaggio filtrante . . . . .	13
2.8	Esecuzione di un cambio di gioco . . . . .	13
2.9	Rappresentazione di un cross . . . . .	14
2.10	Rappresentazione di un contrasto in scivolata . . . . .	15
3.1	Barplot della distribuzione della variabile di risposta <b>Res</b> . . . . .	20
3.2	Barplot della distribuzione della variabile di risposta per squadra <b>Res</b> . . . . .	21
3.3	Mosaicplot che mostra la distribuzione degli esiti rispetto alle partite giocate in casa e fuori casa . . . . .	22
3.4	Boxplot della variabile risposta e della variabile numerica <b>Poss</b> . . . . .	23
3.5	Boxplot della variabile risposta e della variabile numerica <b>SoT</b> . . . . .	24
3.6	Boxplot della variabile risposta e della variabile numerica <b>G/Sh</b> . . . . .	24
3.7	Boxplot della variabile risposta e della variabile numerica <b>Saves</b> . . . . .	25
3.8	Boxplot della variabile risposta e della variabile numerica <b>PAtt</b> e <b>PCmp%</b> . . . . .	27
3.9	Boxplot della variabile risposta e della variabile numerica <b>ToDefPen</b> . . . . .	27
3.10	Boxplot della variabile risposta e della variabile numerica <b>ToAttPen</b> . . . . .	28
3.11	A sinistra il boxplot della variabile risposta e della variabile numerica <b>FIs</b> e a destra il boxplot della variabile risposta e della variabile numerica <b>FId</b> . . . . .	29
3.12	Boxplot della variabile risposta e della variabile numerica <b>Int</b> . . . . .	30
3.13	Boxplot della variabile risposta e della variabile numerica <b>TklWin</b> . . . . .	31
3.14	Boxplot della variabile risposta e della variabile numerica <b>Recov</b> . . . . .	31
3.15	Scatter plot tra <b>Sh</b> e <b>SoT</b> . . . . .	32
3.16	Scatter plot tra <b>Sh</b> e <b>ToAtt3rd</b> . . . . .	33
3.17	Scatter plot tra <b>Sh</b> e <b>ToAttPen</b> . . . . .	34
3.18	Scatter plot tra <b>Poss</b> e <b>PAtt</b> . . . . .	34
3.19	Scatter plot tra <b>Poss</b> e <b>TotDist</b> . . . . .	35
3.20	Scatter plot tra <b>TotDist</b> e <b>PAtt</b> . . . . .	36
3.21	Scatter plot tra <b>TotDist</b> e <b>PCmp%</b> . . . . .	36
3.22	Scatter plot tra <b>ToAtt3rd</b> e <b>ToAttPen</b> . . . . .	37
3.23	Scatter plot tra <b>PAtt</b> e <b>PCmp%</b> . . . . .	37
3.24	Grafico delle correlazioni di ogni coppia di variabili . . . . .	39

# ELENCO DELLE TABELLE

---

2.1	La tabella mostra i punti guadagnati da ogni squadra con il loro piazzamento. Inoltre viene mostrata la percentuale di punti guadagnati in casa. . . . .	4
2.2	La tabella mostra un estratto del dataset utilizzato i cui dati sono stati ricavati da FBref. . . . .	5
2.3	La tabella riassuntiva variabili presenti nel dataset. . . . .	16
2.4	Tabella corrispondenza nomi originali e nomi nel dataset . . . . .	17

# 1 | INTRODUZIONE

---

MEMO: Spiegazione del problema affrontato (il suo dominio) alcune applicazioni fatte nell'ambito delle comparazioni sportive, con maggior attenzione a qui studi con approccio statistico, esporre tecnologie usate e tools (Packages R ecc), motivazione scelta argomento della tesi e esposizione struttura della tesi(capitoli) TO DO

## 1.1 Dominio del problema

## 1.2 Applicazione

## 1.3 Tecnologie e Tools usati

### 1.3.1 Tecnologie

### 1.3.2 Tools

## 1.4 Motivazioni personali

## 1.5 Struttura della tesi



## 2 | SERIE A 2021/2022 DATASET

---

*Nel seguente capitolo verrà descritta la raccolta dati effettuata per costruire il dataset riguardante le partite di calcio della Serie A italiana della stagione 2021/2022 e la struttura di tale dataset.*

### 2.1 Serie A 2021/2022

L'analisi effettuata ha preso in considerazione le partite della Serie A italiana della stagione 2021/2022. La Serie A è un torneo che comprende 20 squadre sparse per tutta l'Italia, alcune anche della stessa città, come ad esempio Milan e Inter per Milano. Tale torneo è organizzato con una struttura Double-Round-Robin, dove ogni squadra affronta due volte le altre 19 avversarie del torneo. Vi è quindi una partita di andata e una di ritorno. In base al sorteggio necessario alla creazione del calendario delle partite si decide quale delle due partite sarà giocata in casa oppure fuori casa (in casa dell'avversario).

Il torneo della stagione 2021/2022 è iniziato il 22 Agosto con Inter - Genoa e si è concluso il 22 Maggio con le partite Salernitana - Udinese e Venezia - Cagliari, per un totale 380 partite giocate, suddivise in 38 turni, ciascuno composto da 10 partite.

#### 2.1.1 Ranking

Le squadre di calcio sono classificate in base all'ordine dei punti che hanno totalizzato al termine della stagione. In un torneo calcistico, per ogni partita, la squadra vincitrice guadagna tre punti, la squadra sconfitta guadagna un punto, mentre, in caso di pareggio, entrambe le squadre guadagnano un punto. Nel torneo della Serie A chi guadagna più punti vince il campionato, mentre chi si classifica tra le ultime tre retrocede alla lega inferiore, la Serie B. Il posto delle tre squadre retrocesse verrà preso da tre squadre della Serie B che hanno guadagnato la promozione alla Serie A.

La classifica della stagione 2021/2022 è riportata nella Tabella 2.1.

### 2.2 Costruzione del dataset

Al giorno d'oggi, nelle partite di calcio professionistico viene raccolta un'enorme quantità di variabili. Ad esempio, per ogni squadra è noto il tempo in percentuale del possesso della palla e il numero di tiri in porta in una determinata partita. L'obiettivo principale di questo lavoro è determinare l'influenza che queste variabili hanno sull'esito della partita.

A tale scopo, sono state raccolte un gran numero di variabili che si suppone essere associate all'esito della partita.

Tali dati sono stati offerti dal sito web FBref(<https://fbref.com>), un sito web dedicato al tracciamento delle statistiche relative ai calciatori e alle squadre di calcio

Posizione	Squadra	Punti	% casa
1	Milan	86	0.47
2	Inter	84	0.54
3	Napoli	79	0.46
4	Juventus	70	0.50
5	Lazio	64	0.56
6	Roma	63	0.57
7	Fiorentina	62	0.66
8	Atalanta	59	0.33
9	Hellas Verona	53	0.57
10	Torino	50	0.58
11	Sassuolo	50	0.48
12	Udinese	47	0.53
13	Bologna	46	0.61
14	Empoli	41	0.42
15	Sampdoria	36	0.58
16	Spezia	36	0.50
17	Salernitana	31	0.48
18	Genoa	30	0.50
19	Cagliari	28	0.61
20	Venezia	27	0.52

**Tabella 2.1:** La tabella mostra i punti guadagnati da ogni squadra con il loro piazzamento. Inoltre viene mostrata la percentuale di punti guadagnati in casa.

di tutto il mondo. FBref mette a disposizione i dati sotto forma di tabelle che possono essere modificate per mantenere solo i dati di nostro interesse.

Dunque, per ogni squadra che ha partecipato alla stagione 2021/2022 di Serie A, sono state esportate le variabili di interesse per ogni partita giocata, selezionando le macro aree opportune e adattando le tabelle per ottenere solo i dati utili. Le varie tabelle hanno composto un file Excel divenuto il dataset per le analisi svolte nelle tesi



**Figura 2.1:** Logo di FBRef.  
Source: <https://fbref.com>

## 2.3 Struttura del dataset

Il dataset risultante dalla raccolta dati è composto da 760 righe e 35 colonne. Ogni riga riguarda una specifica partita di calcio giocata dalla squadra indicata nella colonna **Team** contro la squadra indicata nella colonna **Vs.** Ogni riga contiene informazioni riguardanti solo la squadra indicata in **Team** fatta eccezione per la data della partita (**Date**), il turno (**Round**) e gli spettatori (**Spec**). Quindi, per ogni partita esistono due righe, una per ciascuna squadra coinvolta. Come risultato finale, ogni squadra appare nella colonna **Team** 38 volte e, siccome il numero totale di squadre è 20, si ottengono 760 righe. La Tabella 2.2 mostra un breve estratto dei dati riguardanti le prime tre partite della stagione.

Date	AtHome	Res	GF	GA	Team	Vs	Poss	...
21/08/2021	TRUE	1	4	0	Inter	Genoa	0,59	...
...	...	...	...	...	...	...	...	...
22/08/2021	TRUE	1	2	0	Napoli	Venezia	0,56	...
...	...	...	...	...	...	...	...	...
23/08/2021	FALSE	1	1	0	Milan	Sampdoria	0,51	...
...	...	...	...	...	...	...	...	...
21/08/2021	FALSE	-1	0	4	Genoa	Inter	0,41	...
...	...	...	...	...	...	...	...	...
22/08/2021	FALSE	-1	0	2	Venezia	Napoli	0,44	...
...	...	...	...	...	...	...	...	...
23/08/2021 1	TRUE	1	0	1	Sampdoria	Milan	0,49	...
...	...	...	...	...	...	...	...	...

**Tabella 2.2:** La tabella mostra un estratto del dataset utilizzato i cui dati sono stati ricavati da FBRef.

Come scritto precedentemente all'interno del dataset sono presenti 35 colonne. Oltre

alle già citate **Date**, **Round** e **Spec** che hanno solo un valore di completezza dei dati, le restanti 32 colonne sanno le possibili variabili che possono influenzare l'esito della partita. Le covariate sono state raggruppate nelle seguenti cinque macro-aree:

- \* dati generali,
- \* dati relativi ai tiri,
- \* dati possesso,
- \* dati passaggi,
- \* dati difensivi,

che sono illustrate di seguito.

### 2.3.1 Dati generali

In questo gruppo sono presenti le variabili legate a statistiche che non fanno parte di una precisa macro-area ma che descrivono più genericamente la partita giocata. Le possibili covariate sono le seguenti:

- \* **AtHome**: indica se la squadra specificata della variabile **Team** gioca nel proprio stadio, quindi in casa oppure fuori casa. Per indicare se la squadra gioca in casa viene messo come valore **TRUE** altrimenti **FALSE**.

Come mostrato nella terza colonna della Tabella 2.1, la quale indica in percentuale quante partite sono state vinte in casa per ogni singola squadra, ci sono 11 squadre che hanno avuto un leggero vantaggio nel giocare in casa le partite di calcio rispetto a altre sei squadre che hanno avuto l'effetto opposto, mentre le rimanenti tre hanno avuto un effetto nullo.

- \* **Res**: indica se la squadra specificata della variabile **Team** ha vinto, pareggiato o perso la partita. Per indicare se ha vinto viene inserito il valore 1, se ha pareggiato 0, altrimenti se ha perso -1. **Res** sarà la variabile risposta.
- \* **GF**: indica il numero di gol fatti dalla squadra specificata della variabile **Team**.  
È stata inserita perché può permettere di valutare la qualità della fase offensiva della squadra e quindi ci si aspetta che possa essere utile ai fini dell'analisi.
- \* **GA**: Indica il numero di gol subiti dalla squadra specificata della variabile **Team** e quindi fatti dalla squadra indicata nella variabile **Vs**.

Essa può essere utile perché subire pochi gol incide positivamente sull'esito della partita, limitando l'esposizione della squadra ad uno sbilanciamento in attacco per recuperare lo svantaggio e quindi rischiando maggiormente di subire ulteriori gol dagli avversari. Inoltre, è un fatto riconosciuto che aver la miglior difesa del campionato è associato ad una maggiore probabilità di vittoria del campionato.

- \* **Team**: indica il nome della squadra a cui i dati della riga fanno riferimento.
- \* **Vs**: indica il nome della squadra avversaria.



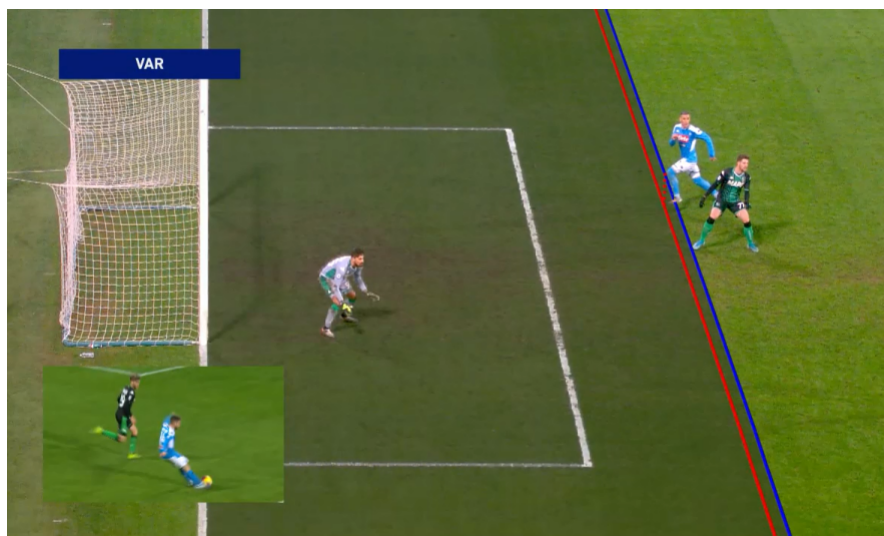
- \* **FIs:** indica il numero di falli fatti dai giocatori della squadra specificata della variabile **Team**.

Questa variabile è stata inserita per capire se una squadra adotta un gioco più fisico/tattico. In questo caso sarà più propensa a interrompere il gioco della squadra avversaria e a commettere più falli. Si vuole perciò capire come questa variabile possa essere associata all'esito della partita, ricordando però che una squadra che commette molti falli è più soggetta a ricevere cartellini gialli o rossi che condizionano la prestazione dei giocatori.

- \* **FId:** indica il numero di falli subiti ai giocatori della squadra specificata della variabile **Team** da parte della squadra avversaria specificata della variabile **Vs**.

Si è deciso di inserire questa covariata perché un alto numero di falli può portare a molte interruzione della manovra di gioco e quindi permettere alla squadra avversaria di riorganizzarsi.

- \* **Off:** indica il numero di volte che la squadra specificata della variabile **Team** è finita in fuorigioco. Un calciatore si trova in posizione di fuorigioco quando una qualsiasi parte del suo corpo, fatta eccezione per braccia e mani, si trova nella metà campo avversaria ed è più vicina alla linea di porta avversaria, sia rispetto al pallone che rispetto al penultimo giocatore difendente avversario, portiere compreso nel caso in cui un compagno di questi è più vicino alla linea di porta. Una rappresentazione grafica del fuorigioco è mostrata nella Figura 2.2.



**Figura 2.2:** Rappresentazione del fuorigioco

Source: <https://sport.sky.it/calcio/2021/10/05/fifa-figc-var-fuorigioco>

È stata inserita perché, se una squadra viene colta molte volte in fuorigioco allora il suo gioco sarà interrotto con vantaggio della squadra avversaria che farà ripartire la sua azione a proprio favore.

### 2.3.2 Dati relativi ai tiri

In questo gruppo sono presenti le variabili collegate alla fase offensiva della squadra in esame.

- \* **Sh**: indica il numero di tiri totali fatti dalla squadra specificata della variabile **Team**. Quindi vengono conteggiati il numero di tiri in porta più i tiri fuori dalla porta.

Una squadra che effettua tanti tiri ha più probabilità di segnare un gol. Occorre però capire quanto è precisa una squadra nel centrare la porta.

- \* **SoT**: Indica il numero di tiri in porta totali fatti dalla squadra specificata della variabile **Team**.

Una squadra con un alto valore di tiri in porta è più probabile che possa segnare un gol. **SoT** permette di capire quanto è precisa in combinazione con **Sh** la squadra di calcio nel centrare la porta.

- \* **G/Sh**: indica la proporzione tra gol e tiri fatti dalla squadra specificata della variabile **Team**.

Questo può permettere di capire quanto la produzioni di tiri della squadra è efficace o meno. Con **Sh** e **SoT** si riesce a valutare quanto sia offensiva la squadra, cioè se essa gioca costantemente in attacco o utilizza la tattica "difesa e contropiede". Inoltre permette di capire quanto la squadra sia precisa nell'effettuare i tiri in porta.

### 2.3.3 Dati relati al possesso

In questo gruppo sono contenute le variabili collegate al possesso della palla

- \* **Poss**: indica la quantità di tempo (in percentuale) di possesso palla durante una partita di calcio per la squadra specificata della variabile **Team**. Nel gioco del calcio, con il termine "possesso palla" si intende un'azione manovrata di due o più giocatori che riescono a passarsi la palla evitando i contrasti degli avversari. Durante la partita, ogni volta che una squadra ha il dominio della palla si dice che questa squadra è in fase di "possesso palla", quindi in questa variabile viene indicato quanto questa fase è durata nell'intera partita.

Il metodo più comune utilizzato per calcolare il possesso palla di una squadra si basa sull'utilizzo di tre cronometri, uno per ciascuna formazione più uno per i tempi morti. Quando un giocatore della squadra A tocca un pallone che prima era in possesso della squadra B, il cronometro della squadra A parte e quello della squadra B si ferma e così via. Il terzo cronometro registra il tempo in tutte le situazioni di palla inattiva, ad esempio, rimesse laterali, calci di punizione ecc.. I tempi vengono poi trasformati in percentuali. Per una registrazione più sofisticata, si possono utilizzare ventidue cronometri, uno per ogni giocatore.

La variabile è stata inserita perché, la supremazia nel possesso palla è solitamente desiderabile e utile, dati i seguenti vantaggi:

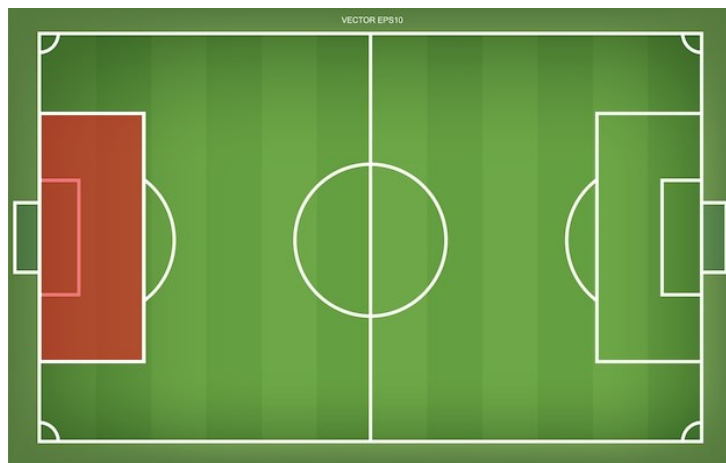
- spingere l'avversario a muoversi verso la palla per allontanarlo dalla difesa della propria porta per poi sorprenderlo negli spazi lasciati incustoditi.

- modulare il ritmo della gara, ad esempio, se una squadra sta vincendo con un gol di scarto, "congela" il risultato mantenendo il possesso della palla in modo da non ricevere attacchi da parte della squadra avversaria.

Il possesso palla però non garantisce la vittoria. Produrre un possesso palla "sterile", cioè senza che questo porti alla produzioni di azioni offensive, può esporre la squadra in possesso della palla a contropiedi nel caso in cui la palla venga persa e quindi all'alto rischio di subire gol perché sbilanciata e non ben posizionata. Vedremo di seguito quali variabili possono essere utili per capire se il possesso palla fatto dalla squadra è "sterile" oppure no.

- \* **ToDefPen**: indica il numero di tocchi fatti dai giocatori della squadra specificata della variabile **Team** nella propria area di rigore.

Questa variabile è stata inserita perché può essere utile per capire come venga gestito il possesso della palla. Se vi è un alto numero di tocchi, vuol dire che la squadra subisce molto la pressione della squadra avversaria, viceversa cerca di fare un gioco più offensivo. Questa variabile, in combinazione con le variabili **ToDef3rd**, **ToMid3rd**, **ToAtt3rd** e **ToAttPen** permette di capire se il possesso della palla fatto della squadra sia utile e porti benefici ai fini del risultato oppure sia sterile. Inoltre, si vuole capire in che misura come **ToDefPen** influenza il risultato della partita con un alto o un basso valore di numero di tocchi nella propria area di rigore, la cui area è indicata nella Figura 2.3.



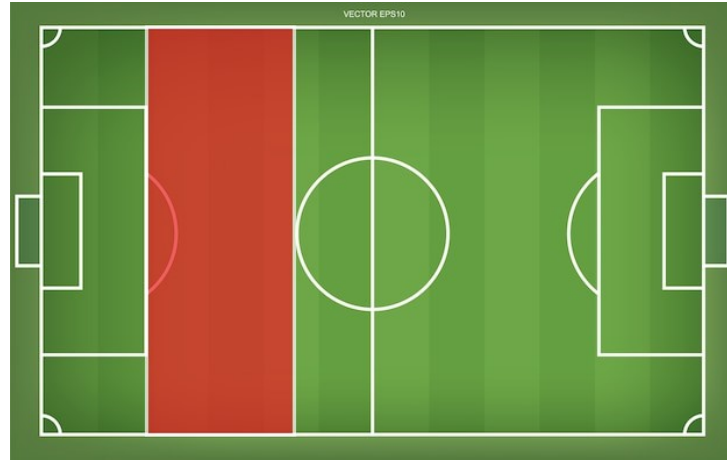
**Figura 2.3:** In rosso l'area di rigore in un campo da calcio.

Source: <https://it.freepik.com/foto-vettori-gratuito/campo-da-calcio>

- \* **ToDef3rd**: indica il numero di tocchi fatti dai giocatori della squadra specificata della variabile **Team** nella propria mediana o trequarti difensiva.

Questa variabile è stata inserita perché può essere utile per capire come venga gestito il possesso della palla. Se vi è un alto numero di tocchi, vuol dire che la squadra cerca di mantenere il possesso palla creando poche azioni offensive, viceversa cerca di fare un gioco più offensivo. Questa variabile, in combinazione con **ToDefPen**, **ToMid3rd**, **ToAtt3rd** e **ToAttPen**, permette di capire se il possesso della palla fatto della squadra sia utile e porti benefici ai fini del risultato oppure

sia sterile. Inoltre, si vuole capire in che misura **ToDef3rd** influenza il risultato della partita con un alto o un basso valore di numero di tocchi nella propria mediana la cui area, è indicata nella Figura 2.4.



**Figura 2.4:** In rosso la mediana nel campo da calcio.

Source: <https://it.freepik.com/foto-vettori-gratuito/campo-da-calcio>

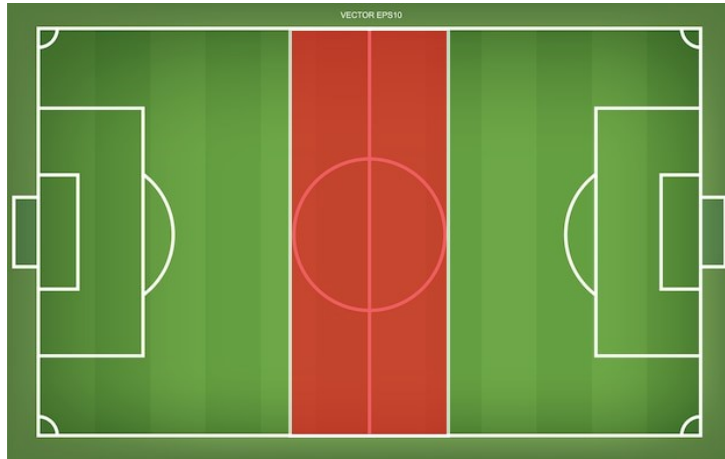
- \* **ToMid3rd**: indica il numero di tocchi fatti dai giocatori della squadra specificata della variabile **Team** a centrocampo.

Questa variabile è stata inserita perché può essere utile per capire come venga gestito il possesso della palla. Se vi è un alto numero di tocchi, vuol dire che la squadra cerca di mantenere il possesso palla cercando di creare delle azioni offensive, viceversa cerca di fare un gioco più difensivo. Questa variabile, in combinazione con le variabili **ToDefPen**, **ToDef3rd**, **ToAtt3rd** e **ToAttPen**, permette di capire se il possesso della palla fatto dalla squadra sia utile e porti benefici ai fini del risultato oppure sia sterile. Inoltre, si vuole capire in che misura **ToMid3rd** influenza il risultato della partita con un alto o un basso valore di numero di tocchi a centrocampo la cui area, è indicata nella Figura 2.5.

- \* **ToAtt3rd**: indica il numero di tocchi fatti dai giocatori della squadra specificata della variabile **Team** a nella trequarti dell'avversario.

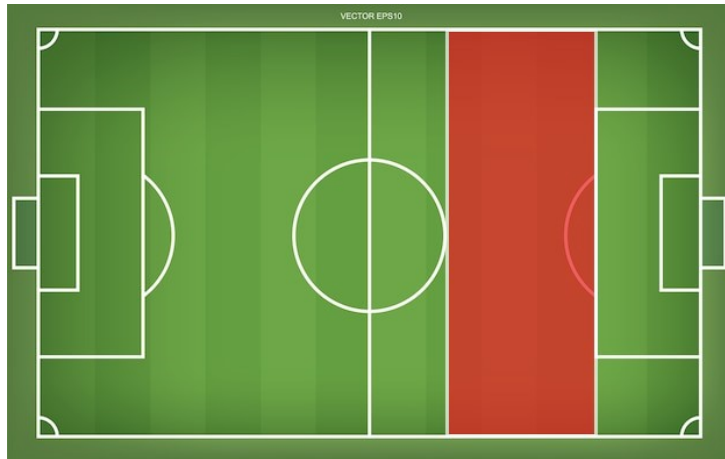
Questa variabile è stata inserita perché può essere utile per capire come venga gestito il possesso della palla. Se vi è un alto numero di tocchi, vuol dire che la squadra cerca di mantenere il possesso palla per effettuare una pressione sulla squadra avversaria affinché si possano creare degli spazi per delle azioni offensive, viceversa cerca di fare un gioco molto più difensivo. Questa variabile, in combinazione con le variabili **ToDefPen**, **ToDef3rd**, **ToMid3rd** e **ToAttPen**, permette di capire se il possesso della palla fatto della squadra sia utile e porti benefici ai fini del risultato oppure sia sterile. Inoltre, si vuole capire in che misura **ToAtt3rd** influenza il risultato della partita con un alto o un basso valore di numero di tocchi nella trequarti dell'avversario la cui area, è indicata nella Figura 2.6.

- \* **ToAttPen**: indica il numero di tocchi fatti dai giocatori della squadra specificata della variabile **Team** a nell'area di rigore dell'avversario.



**Figura 2.5:** In rosso il centrocampo nel campo da calcio.

Source: <https://it.freepik.com/foto-vettori-gratuito/campo-da-calcio>



**Figura 2.6:** In rosso la tre quarti dell'avversario nel campo da calcio.

Source: <https://it.freepik.com/foto-vettori-gratuito/campo-da-calcio>

Questa variabile è stata inserita perché può essere utile per capire come venga gestito il possesso della palla. Se vi è un alto numero di tocchi, vuol dire che la squadra cerca di mantenere il possesso palla applicando un'alta pressione sulla squadra avversaria affinché si possano creare molte occasioni da gol in area, viceversa o la squadra subisce troppo la pressione dell'avversario oppure tende ad avere un gioco molto difensivo. Questa variabile, in combinazione con le variabili `ToDefPen`, `ToDef3rd`, `ToMid3rd` e `ToAtt3rd` permette di capire se il possesso della palla fatto della squadra sia utile e porti benefici ai fini del risultato oppure sia sterile. Inoltre, si vuole capire in che misura `ToAttPen` influenza il risultato della partita con un alto o un basso valore di numero di tocchi nell'area di rigore dell'avversario.

- \* **ToDist**: Indica la distanza totale, espressa in metri, in cui un giocatore della squadra specificata della variabile **Team** si è mosso con la palla in qualsiasi direzione, controllandola con i piedi.

Questa variabile è stata inserita perché permette di comprendere se il possesso della palla sia stato statico, ovvero i giocatori si sono mossi poco senza avanzare, oppure no. Sarà di interesse analizzare se un alto valore di metri percorsi con palla al piede possa essere utile ad ottenere la vittoria.

### 2.3.4 Dati relativi ai passaggi

In questo gruppo vi sono raggruppate le variabili collegate ai passaggi della palla.

- \* **PAtt**: Indica il numero di tutti i passaggi tentati dai giocatori della squadra specificata della variabile **Team**.

Utile a capire quanto la squadra sia incline a tentare i passaggi.

- \* **PCmp%**: Indica la percentuale di passaggi riusciti ai giocatori della squadra specificata della variabile **Team**.

È stata inserita perché permette di capire quanti passaggi siano andati a buon fine tra tutti quelli tentati e quindi la precisione dei giocatori della squadra.

- \* **SPAtt**: Indica il numero di passaggi corti tentati dai giocatori della squadra specificata della variabile **Team**. Per passaggi corti si intendono tutti quelli effettuati all'interno di una lunghezza tra i tre e quattordici metri.

È stata inserita per capire se un alto numero di passaggi corti possa essere determinanti ai fini dell'esito della partita.

- \* **SPCmp%**: Indica la percentuale di passaggi corti riusciti ai giocatori della squadra specificata della variabile **Team**.

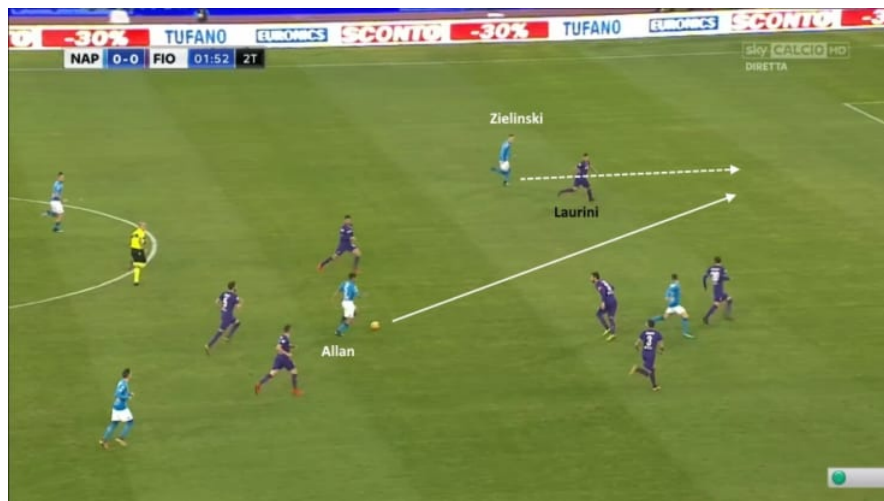
È stata inserita perché permette di capire quanti passaggi andati a buon fine tra tutti quelli tentati e quindi la precisione dei giocatori della squadra.

- \* **MPAtt**: Indica il numero di passaggi medi tentati dai giocatori della squadra specificata della variabile **Team**. Per passaggi medi si intendono tutti quelli effettuati all'interno di una lunghezza tra i tredici e ventisette metri. Questi passaggi possono essere considerati come passaggi filtranti, cioè non diretti al proprio compagno di squadra ma verso un'area del campo dove il compagno di squadra deve andare a prendere la palla. Spesso questi passaggi vengono fatti per sorprendere la difesa avversaria e evitare che la palla venga intercettata. Nella Figura 2.7 viene mostrato l'esecuzione di un passaggio filtrante.

È stata inserita per capire se un alto numero di passaggi medi possa essere determinante ai fini dell'esito della partita.

- \* **MPCmp%**: Indica la percentuale di passaggi medi riusciti ai giocatori della squadra specificata della variabile **Team**.

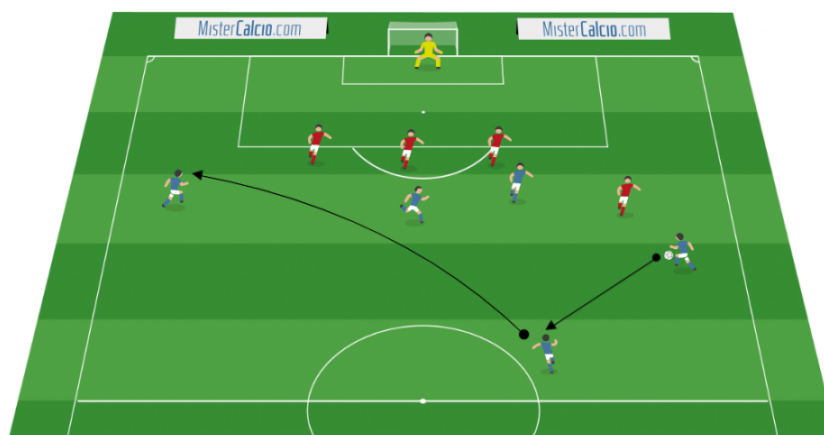
È stata inserita perché permette di capire quanti passaggi siano andati a buon fine tra tutti quelli tentati e quindi la precisione dei giocatori della squadra.



**Figura 2.7:** Esecuzione di un passaggio filtrante

Source: <https://www.ilmisterone.com/2019/01/16/passaggi-filtranti/>

- \* LPAtt: Indica il numero di passaggi lunghi tentati dai giocatori della squadra specificata della variabile **Team**. Per passaggi lunghi si intendono tutti quelli effettuati all'interno di una lunghezza superiore ai ventisette metri. Questi passaggi possono essere considerati come lanci lunghi per cambi di gioco o per lanciare le punte, cioè i giocatori che giocano come attaccanti, in profondità. Una rappresentazione di passaggio lungo è mostrata nella Figura 2.8.



**Figura 2.8:** Esecuzione di un cambio di gioco

Source: <https://www.mistercalcio.com/tattica/il-cambio-di-gioco/>

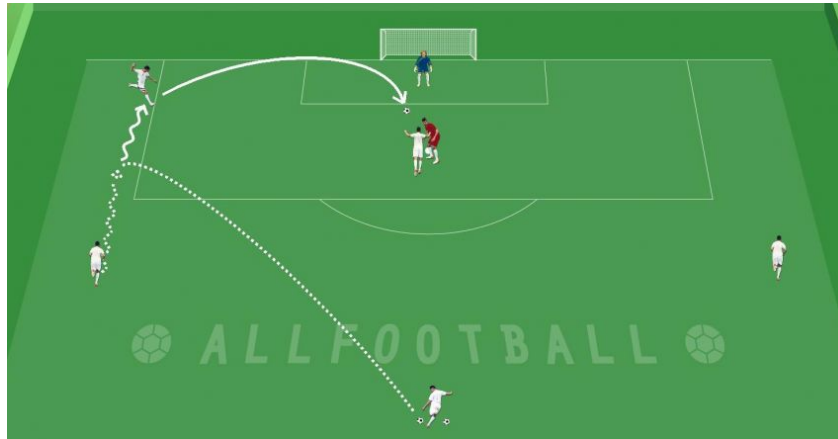
È stata inserita per capire se un alto numero di passaggi lunghi possa essere determinante ai fini dell'esito della partita.



- \* **LPCmp%**: Indica la percentuale di passaggi lunghi riusciti ai giocatori della squadra specificata della variabile **Team**.

È stata inserita perché permette di capire quanti passaggi sono andati a buon fine tra tutti quelli tentati e quindi qual'è la precisione dei giocatori della squadra.

- \* **Crs**: Indica il numero di cross effettuati dalla squadra specificata della variabile **Team**. Un cross (in italiano traversone) è un tipo di passaggio medio o lungo, solitamente effettuato sulle fasce laterali dell'area avversaria o comunque vicino all'area avversaria, che permette al compagno di squadra posizionato vicino alla porta avversaria di colpire la palla al volo di testa oppure di piede per segnare un possibile gol. Quindi, se eseguito correttamente, il cross può diventare un assist, cioè l'ultimo passaggio per la realizzazione del gol.



**Figura 2.9:** Rappresentazione di un cross

Source: <http://www.allfootball.it/blog/calcio-vincere-allenando-i-dettagli/27-2-2017/calcio-la-marcatura-a-uomo-su-cross-laterale/>

Una rappresentazione di cross è mostrata nella Figura 2.9.

### 2.3.5 Dati difensivi

In questo gruppo sono contenute le variabili collegate alla fase difensiva.

- \* **Saves**: Indica il numero di parate fatte del portiere della squadra specificata della variabile **Team**.

È stata inserita perché permette di valutare se la squadra subisce tanti tiri dagli avversari, così come la qualità del portiere nel salvare la squadra da un possibile gol subito.

- \* **Int**: Indica il numero di intercettazioni fatte dai giocatori della squadra specificata della variabile **Team**. Per intercettazione della palla si intende l'intercettazione di un passaggio della squadra avversaria entrando in possesso del pallone andando ad interrompere il passaggio avversario.

- \* **TklWin**: Indica il numero di contrasti vinti dai giocatori della squadra specificata della variabile **Team**. Per contrasto si intende il tentativo da parte di un giocatore



difendente di sottrarre il possesso della palla all'avversario. Quindi chi ha in possesso la palla viene attaccato da chi ne è privo. Se si riesce a prendere il pallone all'avversario allora si avrà vinto il contrasto. I contrasti vengono effettuati anche per allontanare l'avversario dalle zone pericolose. La Figura 2.10 mostra un contrasto di gioco.



**Figura 2.10:** Rappresentazione di un contrasto in scivolata

Source: <https://www.ilmisterone.com/2022/01/24/partita-solo-tackle/>

Visto che tale intervento senza palla modifica il gioco dell'avversario, si è deciso di inserire i contrasti vinti come variabile.

- \* **Recov:** Indica il numero di palle vaganti recuperate dalla squadra specificata della variabile **Team**. Per palle vaganti si intendono quei palloni che, a seguito di un contrasto di gioco, non sono stati recuperati dalla squadra che ha effettuato il contrasto ma chi ha subito il contrasto, ne ha comunque perso il controllo. Quindi nessuno ha in possesso il pallone e la palla viene detta vagante.

Dato che questa variabile sembra essere legata al possesso del pallone, potrebbe essere interessante per l'analisi.

Nella Tabella 2.3 è riassunto l'insieme delle variabili presenti e le loro macro-aree di appartenenza.

Di seguito nella Tabella 2.4 è mostrato per ogni variabile il nome che ha all'interno del dataset.

Statistiche generali	Tiri	Possesso	Passaggi	Difensive
AtHome	Sh	Poss	PAtt	Saves
Res	SoT	ToDefPen	PCmp%	Int
GF	G/Sh	ToDef3rd	SPAtt	TklWin
GA		ToMid3rd	SPCmp%	Recov
Team		ToAtt3rd	MPAtt	
VS		ToAttPen	MPCmp%	
Fls		ToDist	LPAtt	
Fld			LPCmp%	
Off			Crs	

**Tabella 2.3:** La tabella riassuntiva variabili presenti nel dataset.

Originale	Rinominate
AtHome	AtHome
Res	Res
GF	GF
GA	GF
Team	Team
VS	Vs
Poss	Poss
Sh	Sh
SoT	SoT
G/Sh	G.Sh
Saves	Saves
PAtt	PAtt
PCmp%	PCmp.
SPAtt	SPAtt
SPCmp%	SPCmp.
MPAtt	MPAtt
MPCmp%	MPCmp.
LPAtt	LPAtt
LPCmp%	LPCmp.
ToDefPen	ToDefPen
ToDef3rd	ToDef3rd
ToMid3rd	ToMid3rd
ToAtt3rd	ToAtt3rd
ToAttPen	ToAttPen
ToDist	ToDist
Fls	Fls
Fld	Fld
Off	Off
Crs	Crs
Int	Int
TklWin	TklWin
Recov	Recov

**Tabella 2.4:** Tabella corrispondenza nomi originali e nomi nel dataset



## 3 | ANALISI DEI DATI

---

*Nel seguente capitolo verrà illustrata la fase di preprocessing e l'analisi grafica dei dati.*

### 3.1 Preprocessing dei dati

Dopo aver importato il dataset utilizzando il linguaggio R, il primo step da effettuare durante il preprocessing è individuare e risolvere possibili anomalie nei dati per poter poi effettuare analisi preliminari.

Il dataset è stato importato in modo che la prima riga contenga l'intestazione, mentre le restanti righe tutte le osservazioni. Il comando usato per importare il dataset è il seguente:

```
1 > soccer<-read.xlsx("SerieA.xlsx", 1, header=TRUE)
```

Il dataset non ha valori mancanti. Questo è stato possibile grazie a FBref che ha messo a disposizione dati quasi sempre completi; in quei rari casi di mancanza di dati sono stati reperiti manualmente da altre fonti altrettanto attendibili.

Sono state inoltre tolte le variabili **Date** e **Round**.

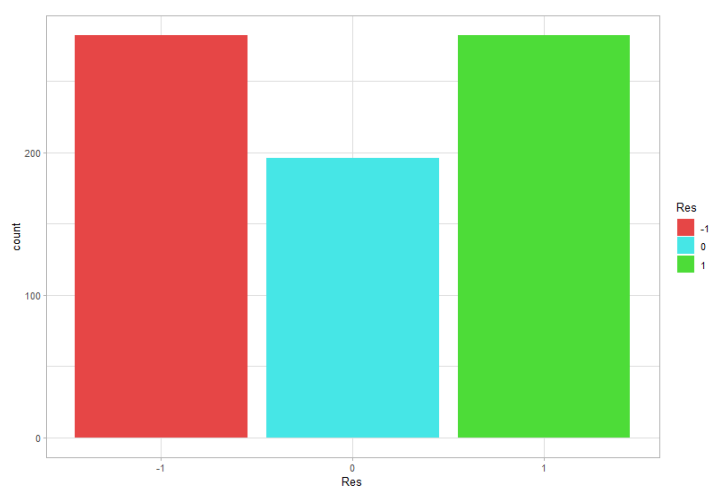
Il passo successivo è stato controllare che le variabili fossero interpretate correttamente. Le variabili **Team** e **Vs** vengono interpretate erroneamente come tipo **character**. Queste variabili devono essere interpretate come fattore cioè un variabile non numerica, espressa in termini verbali ad esempio una categoria; quindi ogni squadra sarà un livello del fattore. Analogamente per **AtHome** c'è un'interpretazione sbagliata; ciononostante si pensi che possa essere un tipo **logical** si è preferito convertire la variabile in un fattore con due livelli. Anche la variabile **Res** è stata trasformata in un fattore con i livelli; 1 = vittoria, 0 = pareggio, -1 = sconfitta.

### 3.2 Analisi grafica dei dati

In questa sezione attraverso il supporto di grafici, si analizzerà graficamente i dati disponibili e le loro relazioni per avere una prima visione dei dati raccolti. Si cercherà di individuare possibili outliers, quali distribuzioni hanno i dati e soprattutto valutare le relazioni tra covariate e variabile di risposta e tra due covariate, con lo scopo di individuare quali possano essere significative per la variabile risposta e quali interazioni emergono dall'analisi grafica.

Come primo passo, è stata valutata la distribuzione delle classi della variabile risposta **Res** all'interno delle osservazioni disponibili. La distribuzione è mostrata nella Figura 3.1.

Si può notare come le classi sembrano ben distribuite, dato che abbiamo 196 pareggi e 282 vittorie e altrettante sconfitte. Si ha quindi un campione abbastanza ampio,



**Figura 3.1:** Barplot della distribuzione della variabile di risposta **Res**

distribuito e privo di classi povere.

Aumentando il livello di dettaglio è di interesse analizzare come queste classificazioni sono distribuite tra le varie squadre.

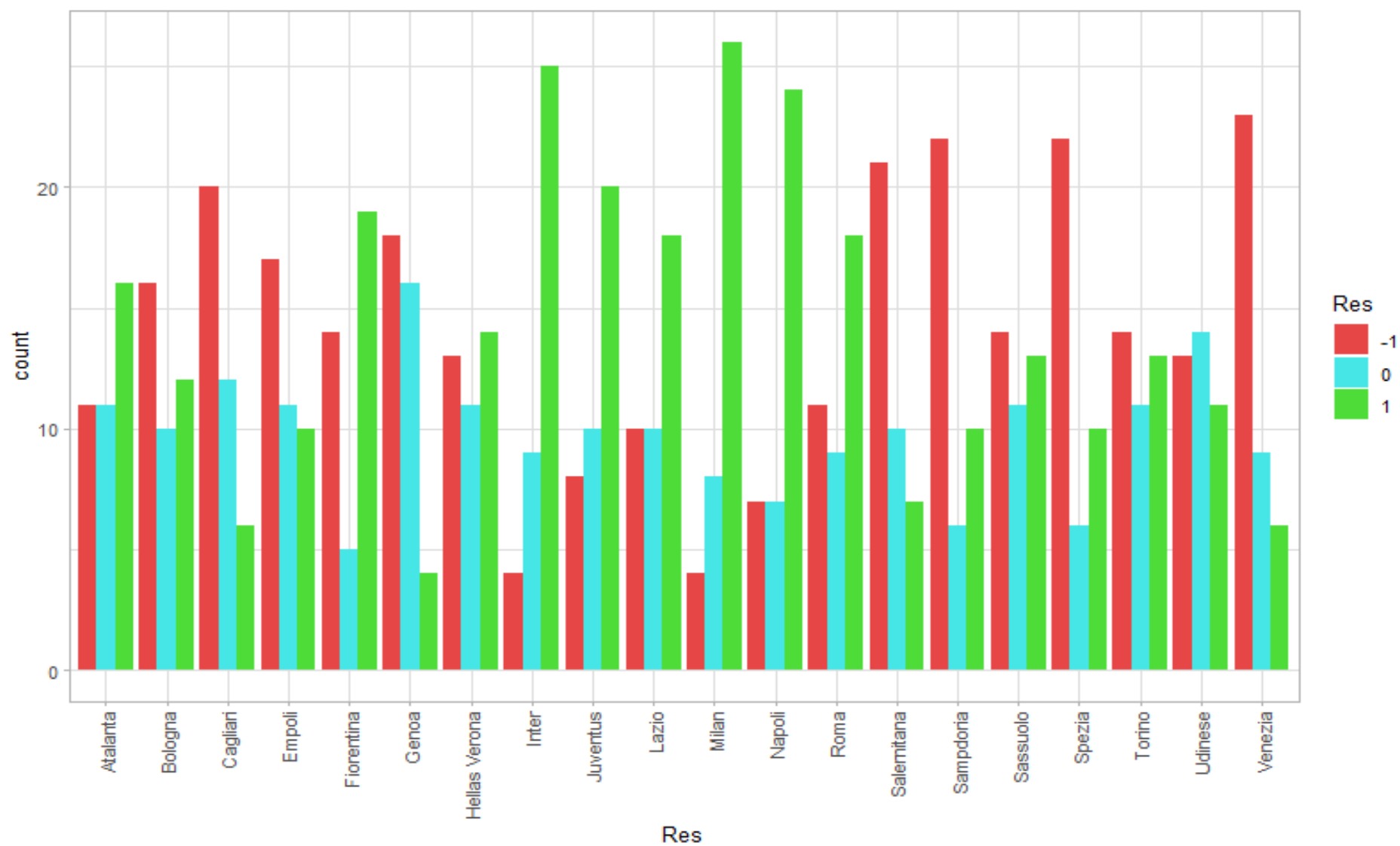


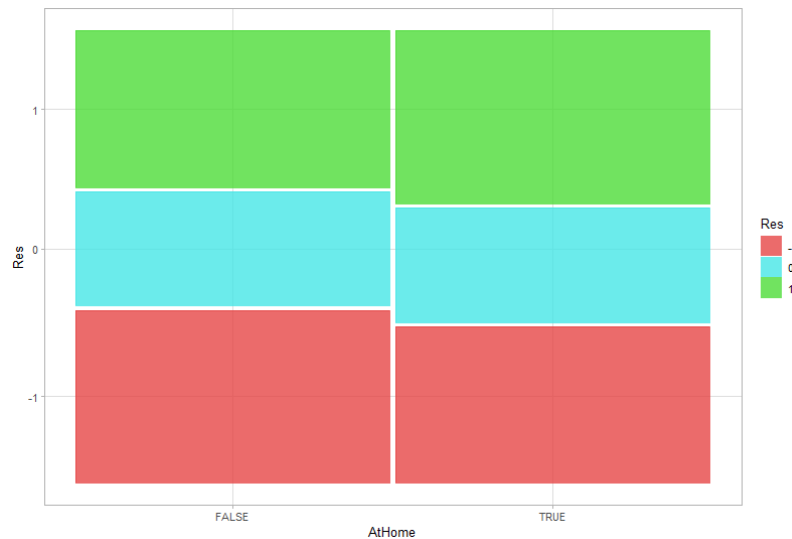
Figura 3.2: Barplot della distribuzione della variabile di risposta per squadra

Nella Figura 3.2 si può notare come la distribuzione di vittorie, pareggi e sconfitte non è omogenea tra le squadre. Ovviamente è un risultato che ci si aspettava ma che sottolinea la correttezza dei dati e la presenza di qualche elemento nascosto che ne ha determinato una tale distribuzione.

### 3.2.1 Analisi relazione tra variabile risposta e covariate

In seguito è stata analizzata le relazione tra variabile di risposta con alcune covariate.

La prima relazione che si analizza riguarda la variabile categorica **AtHome**. Nella Figura 3.3 si può vedere che c'è una leggera variazione dei risultati tra la squadra che gioca in casa e l'avversaria. Infatti, c'è una leggera tendenza a favorire la vittoria per la squadra che gioca in casa. Naturalmente non deve esserci alcuna variazione per il pareggio dato che entrambe le squadre lo ottengono. Risulta perciò significativa la variabile **AtHome**.

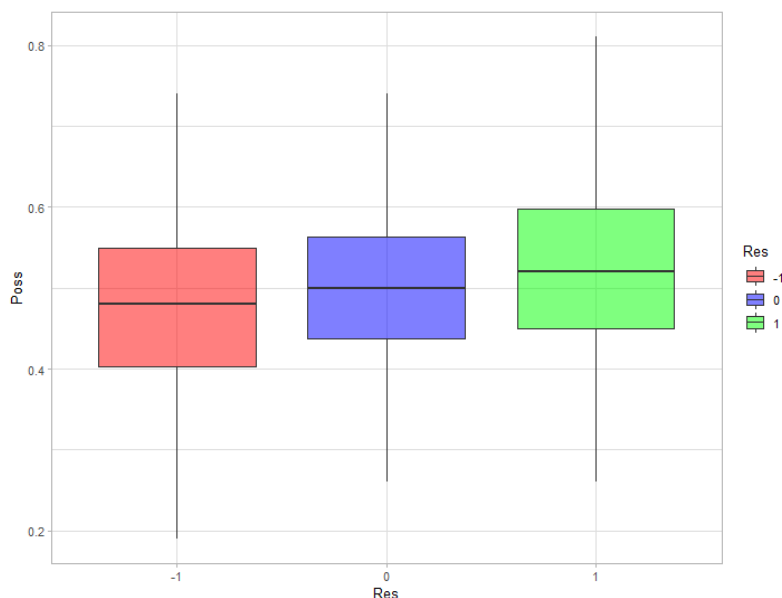


**Figura 3.3:** Mosaicplot che mostra la distribuzione degli esiti rispetto alle partite giocate in casa e fuori casa

Analizzando invece la relazione tra variabile di risposta e **Poss**, dalla Figura 3.4 si nota che tale variabile sembra essere significativa per l'esito. Infatti c'è un relazione positiva dove, valori più alti di possesso palla sono registrati nel box della vittoria e ciò può portare a una maggiore probabilità di vittoria. C'è una buona distribuzione dei dati, infatti le code sono simmetriche mentre c'è una variabilità quasi identica. Si segnala solo che la mediana della sconfitta è più vicina al 3° quantile mentre quella della vittoria è più vicina al 1° quantile. Inoltre non ci sono presenti outliers.

La Figura 3.5 mostra come si comporta la relazione con **SoT**. Come ci si aspetta si hanno valori più alti nella vittoria e valori molto più bassi nella sconfitta, c'è una buona distribuzione dei valori nella vittoria dato che le code sono simmetriche, per le altre due classi non c'è simmetria dato che ci sono valori più bassi rispetto a valori





**Figura 3.4:** Boxplot della variabile risposta e della variabile numerica **Poss**

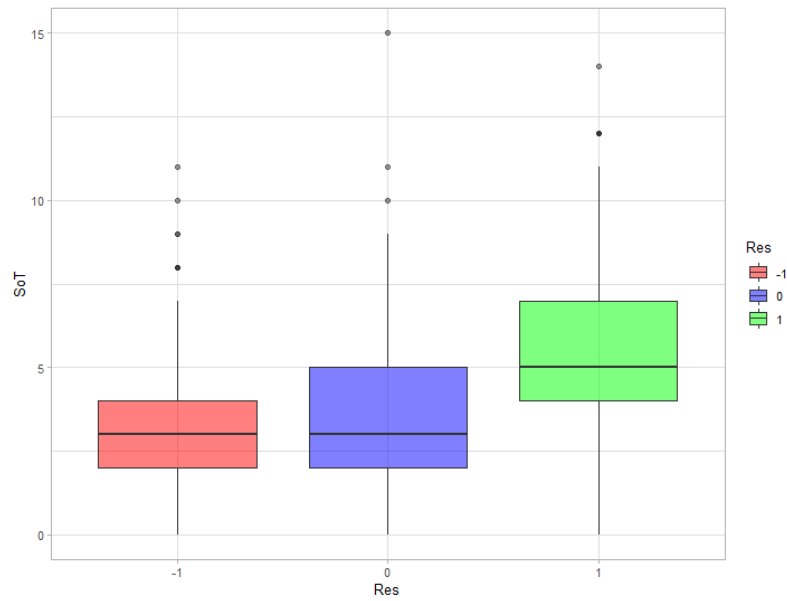
più alti. Inoltre alcuni outliers si discostano dalla distribuzione di tutte e tre le classi perché ci sono state squadre che hanno tirato molto in porta. Le mediane dei box pareggio e vittoria non sono equidistanti dai quantili ma più vicine al 1° quantile. Il box della sconfitta ha una bassa varianza. In conclusione, avere un valore alto di tiri in porta sembra essere significativo ai fini della vittoria.

Per la relazione con la variabile **Sh**, si ha un grafico molto simile al grafico mostrato nella Figura 3.4. Le poche differenze che si possono riscontrare tra i due grafici sono: il grafico di **Sh** rispetto al grafico di **Poss** ha dei outliers, ha una minor varianza e la mediana della sconfitta non è equidistante dai quantili ma più vicina al 1° quantile.

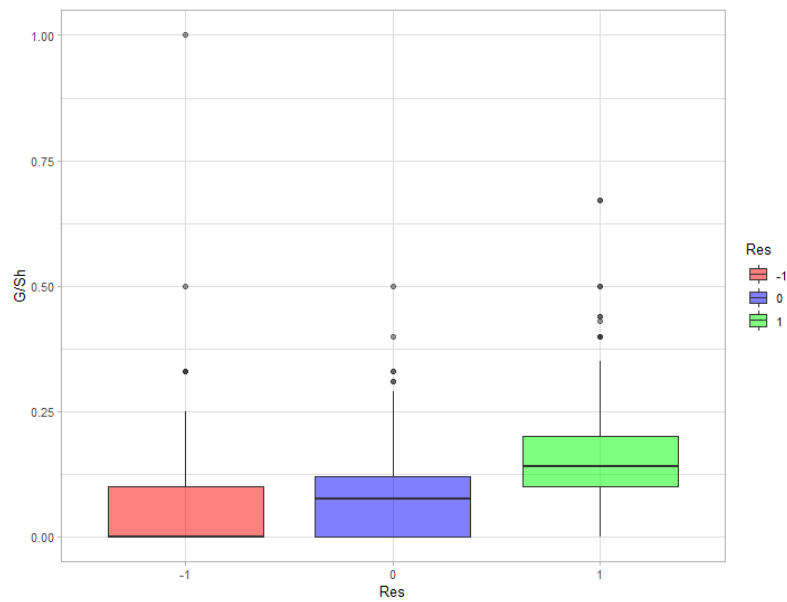
La Figura 3.6 mostra come si comporta la relazione con **G/Sh**. Si nota che ci sono valori molto bassi ma leggermente più alti per la vittoria. La distribuzione non è buona perché le code sono asimmetriche infatti tutti i valori sono concentrati in basso e pochi verso la coda più in alto, per di più c'è una bassa varianza tra i valori. C'è la presenza di outliers perché alcune squadre sono riuscite a ottenere il massimo da ogni tiro. I risultati mostrati nonostante la pessima distribuzione, sono comunque coerenti dato che non ci si aspetta dal rapporto tiri-gol un numero alto ma comunque una tendenza che favorisca la vittoria.

La Figura 3.7 mostra come si comporta la relazione con **Saves**. Come si può notare sembra che **Saves** sia poco significativa ai fini del risultato. Infatti c'è poca variazione tra una classe e l'altra dato che avere un alto numero di parate non è determinante ai fini del risultato.

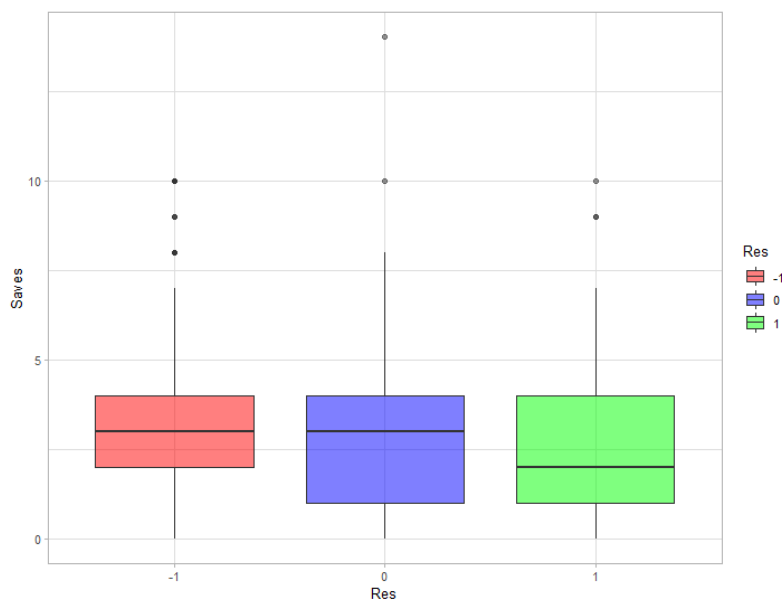
La Figura 3.8 mostra come si comporta la relazione con **PAtt** e con **PCmp%**. Per entrambi sembra significativo l'elevato numero di passaggi tentati ma soprattutto



**Figura 3.5:** Boxplot della variabile risposta e della variabile numerica SoT



**Figura 3.6:** Boxplot della variabile risposta e della variabile numerica G/Sh



**Figura 3.7:** Boxplot della variabile risposta e della variabile numerica **Saves**

quelli completati ai fini della vittoria. Nel primo boxplot la coda più in alto è più lunga rispetto alla coda più in basso, quindi abbiamo valori più concentrati verso il basso che verso l'alto. Sempre nel primo boxplot il box della vittoria ha una maggiore variabilità rispetto agli altri due e varia di più avendo valori più alti; sia la mediana del box vittoria e sia quello del pareggio sono più vicine al 1° quantile, viceversa quella della sconfitta. I dati nel primo boxplot sembrano essere coerenti con l'esito della partita perché, maggior numero di passaggi si prova ad effettuare, maggiori sono le possibilità di vittoria. Occorre però sapere quanto è precisa la squadra.

Nel secondo boxplot si notano valori alti e molti outliers con valori bassi dovuti al fatto che ci sono state partite dove alcune squadre sono state poco precise nei passaggi. A differenza del primo boxplot il secondo boxplot ha molti valori alti, infatti la coda più in alto è molto meno lunga rispetto alla coda più in basso e le variabilità dei box sembrano essere uguali tra di loro; anche qui le code non sono simmetriche e quindi non c'è una buona distribuzione dei dati. Sorprendentemente sembra che avere una buona precisione però non dà la sicurezza di una vittoria, inoltre l'andamento prima scende da sconfitta a pareggio e poi sale da pareggio a vittoria.

Per la relazione con la variabile **SPAtt**, si ha un grafico molto simile al grafico a sinistra della Figura 3.8. Le poche differenze che si possono riscontrare tra i due grafici sono: il grafico di **SPAtt** ha un maggior numero di outliers soprattutto per la sconfitta rispetto al grafico **PAtt**; sempre per il grafico di **SPAtt** si ha una minor varianza per tutte le tre classi oltre a un insieme di valori più bassi ma questo è naturale perché **PAtt** contiene tutti i passaggi tentati e non solo quelli corti.

Per la relazione con la variabile **SPCmp%**, si ha un grafico molto simile al grafico a destra della Figura 3.8. Le poche differenze che si possono riscontrare tra i due grafici sono:

il grafico di **SPCmp%** ha per il pareggio una distribuzione più ampia dei valori rispetto al grafico di **PCmp%** e viceversa per la vittoria, il grafico di **SPCmp%** ha una distribuzione più ristretta.

Per la relazione con la variabile **MPAtt**, si ha un grafico molto simile al grafico a sinistra della Figura 3.8. Le poche differenze che si possono riscontrare tra i due grafici sono: il grafico di **MPAtt** ha per la sconfitta una distribuzione più ampia dei valori rispetto al grafico di **PAtt**.

I valori sono più bassi rispetto al grafico di **PAtt** ma questo è naturale perché **PAtt** contiene tutti i passaggi tentati e non solo quelli medi.

Per la relazione con la variabile **MPCmp%**, si ha un grafico molto simile al grafico a destra della Figura 3.8. Le poche differenze che si possono riscontrare tra i due grafici sono: il grafico di **MPCmp%** rispetto al grafico di **PCmp%** ha valori più alti e molti più outliers, inoltre le code più in basso per la sconfitta e la vittoria sono più corte.

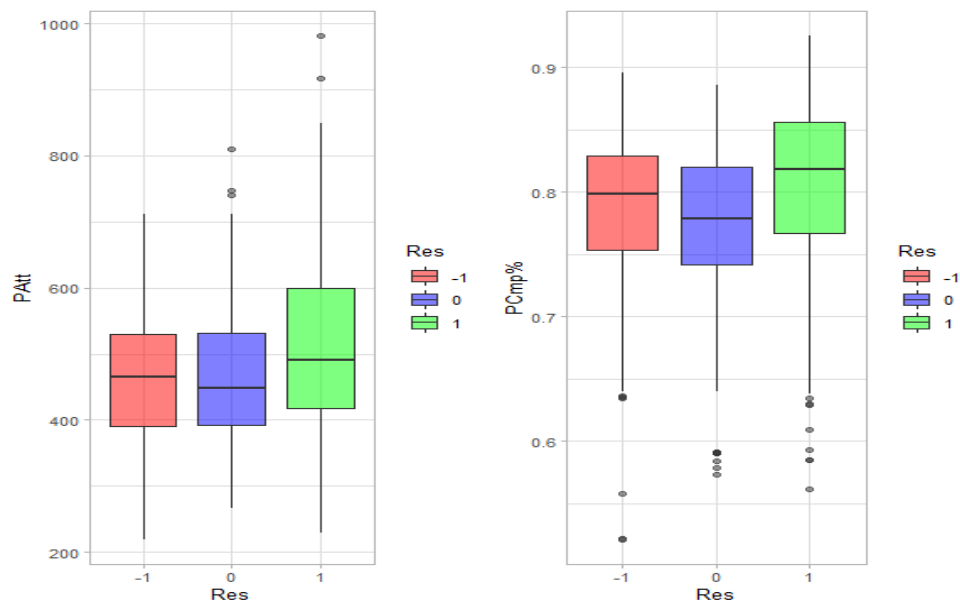
Per la relazione con la variabile **LPAtt**, si ha un grafico molto simile al grafico a sinistra della Figura 3.8. Le poche differenze che si possono riscontrare tra i due grafici sono: il grafico di **LPAtt** rispetto al grafico di **PAtt** ha per la sconfitta valori più bassi rispetto al pareggio e alla vittoria, ha un maggior numero di outliers oltre ad avere per il pareggio una distribuzione più ampia dei valori e per la vittoria, una distribuzione più ristretta. I valori sono più bassi rispetto al grafico di **PAtt** ma questo è naturale perché **PAtt** contiene tutti i passaggi tentati e non solo quelli lunghi.

Per la relazione con la variabile **LPCmp%**, si ha un grafico molto simile al grafico a destra della Figura 3.8. Le poche differenze che si possono riscontrare tra i due grafici sono: il grafico di **LPCmp%** rispetto al grafico di **PCmp%** ha valori più bassi, la distribuzione dei valori per la sconfitta è ben equilibrata dato che le code sono della stessa lunghezza oltre alla mediana che è equidistante dai due quantili, analogamente anche il pareggio ha una distribuzione equilibrata ma più ampia e, una mediana equidistante dai quantili.

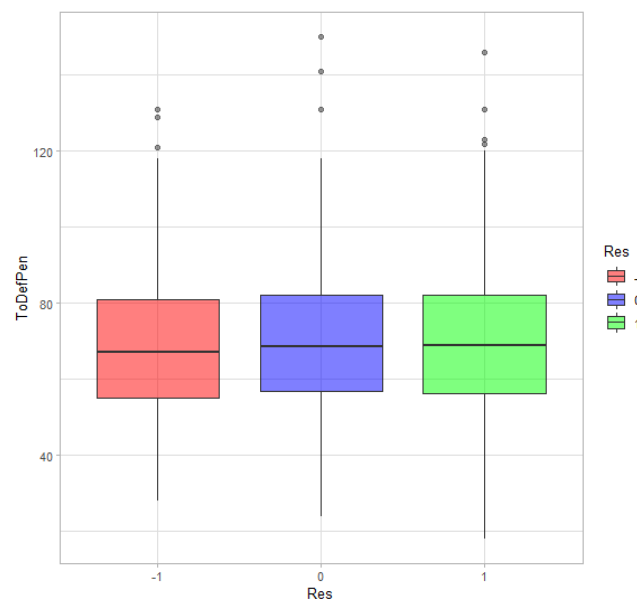
La Figura 3.9 mostra come si comporta la relazione con **ToDefPen**. Come si può notare questa non è per nulla significativa per la variabile risposta, infatti non c'è una minima variazione e i box hanno tutti la stessa varianza. L'esito può essere giustificato dal fatto che le squadre cercano di rimanere fuori il più possibile dalla propria area di rigore per non portare troppo vicino alla porta l'avversario. Da ciò si può ipotizzare che **ToDefPen** non è significativa per il modello; prima di escluderla si andrà ad analizzare se c'è qualche interazione con altre variabili che la fanno diventare significativa.

La Figura 3.10 mostra come si comporta la relazione con **ToAttPen**. Contrariamente quanto visto con la Figura 3.9 qui si nota una certa variazione da una un box e l'altro, infatti c'è una tendenza positiva che porta ad aver valori più alti in caso di vittoria. C'è una maggior varianza per quanto riguarda la vittoria rispetto agli altri due esiti e la distribuzione di tutti e tre è abbastanza bilanciata se non che, la coda più in basso è leggermente meno lunga rispetto all'altra coda; la mediana invece è equilibrata. Si nota inoltre che ci sono alcuni outliers, segno che alcune squadre in qualche partita, si sono particolarmente rese note nel produrre un quantitativo di tocchi maggiore rispetto alla distribuzione, ciò però non sembra influenzare l'esito.

Per la relazione con la variabile **ToDef3rd**, si ha un grafico molto simile a quello



**Figura 3.8:** Boxplot della variabile risposta e della variabile numerica **PAtt** e **PCmp%**

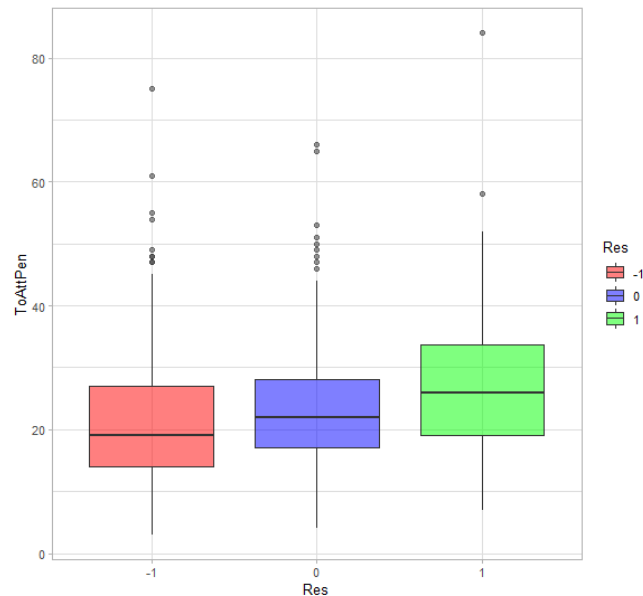


**Figura 3.9:** Boxplot della variabile risposta e della variabile numerica **ToDefPen**

mostrato nella Figura 3.10. Le poche differenze che si possono riscontrare tra i due grafici sono: il grafico di `ToDef3rd` rispetto al grafico di `ToAttPen` ha un minore numero di outliers soprattutto per il pareggio, e sempre per il pareggio una varianza simile a quella della sconfitta. La vittoria invece ha una distribuzione ben equilibrata.

Per la relazione con la variabile `ToMid3rd`, si ha un grafico molto simile a quello mostrato nella Figura 3.10. Le poche differenze che si possono riscontrare tra i due grafici sono: il grafico di `ToMid3rd` rispetto al grafico di `ToAttPen` ha un minore numero di outliers e la varianza della sconfitta è molto simile a quella del pareggio ma con la mediana più vicina al 3° quantile.

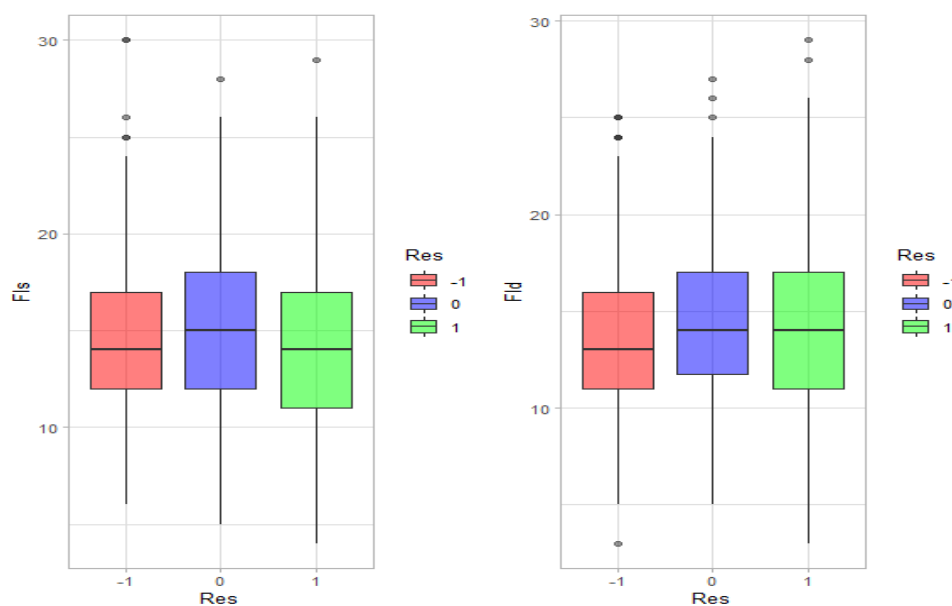
Per la relazione con la variabile `ToAtt3rd`, si ha un grafico molto simile a quello mostrato nella Figura 3.10. Le poche differenze che si possono riscontrare tra i due grafici sono: il grafico di `ToAtt3rd` rispetto al grafico di `ToAttPen` ha una minor varianza per tutte e tre le classi e una distribuzione sbilanciata verso valori più bassi dato che tutte le code più in basso sono più corte rispetto alle code più in alto. L'andamento però rimane lo stesso presente nella Figura 3.10.



**Figura 3.10:** Boxplot della variabile risposta e della variabile numerica `ToAttPen`

Nella Figura 3.11 vengono mostrati gli andamenti delle variabili dei falli, `F1s` e `F1d`. Nel boxplot a sinistra si può notare che i valori più alti sono nel pareggio mentre sono presenti valori più bassi nella vittoria. Ciò fa ipotizzare che subire molti falli può impedire la vittoria alla squadra che li subisce. Per quanto riguarda la distribuzione sembra essere buona; c'è minor varianza per quanto riguarda la sconfitta.

Nel secondo boxplot valori più alti sono presenti sia sul pareggio e sia sulla vittoria e sempre qui si ha una maggior distribuzione rispetto alla sconfitta. Sembra perciò che dal grafico si può intuire che se la squadra non commette dei falli allora sarà più



**Figura 3.11:** A sinistra il boxplot della variabile risposta e della variabile numerica *Fls* e a destra il boxplot della variabile risposta e della variabile numerica *Fld*

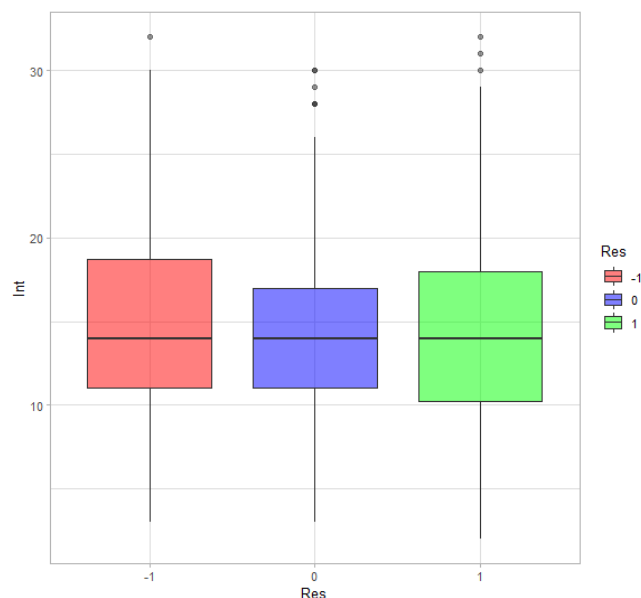
soggetta a perdere.

Per la relazione con la variabile *Off*, si ha un grafico molto simile a quello mostrato nella Figura 3.7. Le poche differenze che si possono riscontrare tra i due grafici sono: il grafico di *Off* rispetto al grafico di *Saves* ha meno valori per la sconfitta rispetto alle altre due classi e le mediane della sconfitta e del pareggio sono attaccate al 1° quantile. Data la poca significatività con la variabile risposta si opta per non inserirla nel modello.

Per la relazione con la variabile *Crs*, si ha un grafico molto simile a quello mostrato nella Figura 3.12. Le poche differenze che si possono riscontrare tra i due grafici sono: il grafico di *Crs* rispetto al grafico di *Saves* ha per la sconfitta più variabilità e le code più in basso della sconfitta e della vittoria sono più corte.

La Figura 3.12 mostra come si comporta la relazione con *Int*. Sorprendentemente valori più alti sono registrati nella sconfitta, anche se la mediana risulta essere più vicina al 1° quantile sottolineando che c'è un maggior numero di valori bassi piuttosto che alti. La mediana dei restanti esiti invece è ben equilibrata ma il pareggio risulta avere meno variabilità. Sembra perciò che effettuare troppi intercettazioni dei passaggi avversari contrariamente da quanto si pensi sia controproducente per la vittoria. Si segnala inoltre la presenza di alcuni outliers con valori alti di intercettazioni, che si discostano dalle distribuzioni.

La Figura 3.13 mostra come si comporta la relazione con *TklWin*. Come si può notare, vincere più contrasti possibili evita di subire una sconfitta. Infatti ci sono valori più alti in pareggio e vittoria oltre a una maggiore varianza rispetto alla sconfitta. Nello specifico però si nota che: nella distribuzione ci sono maggior valori alti nella vittoria



**Figura 3.12:** Boxplot della variabile risposta e della variabile numerica **Int**

rispetto al pareggio, graficamente lo si vede dalla mediana che nel pareggio è più vicina al 1° quindi a valori più bassi e lo si nota anche dalla coda più in basso che è meno lunga rispetto a quella più in alto; invece la mediana della vittoria risulta più vicina al 3° oltre ad avere la coda più in alto, più corta rispetto a quella più in basso. C'è inoltre qualche outliers con valori più alti di contrasti vinti ma sembrano non influenzare la classificazione.

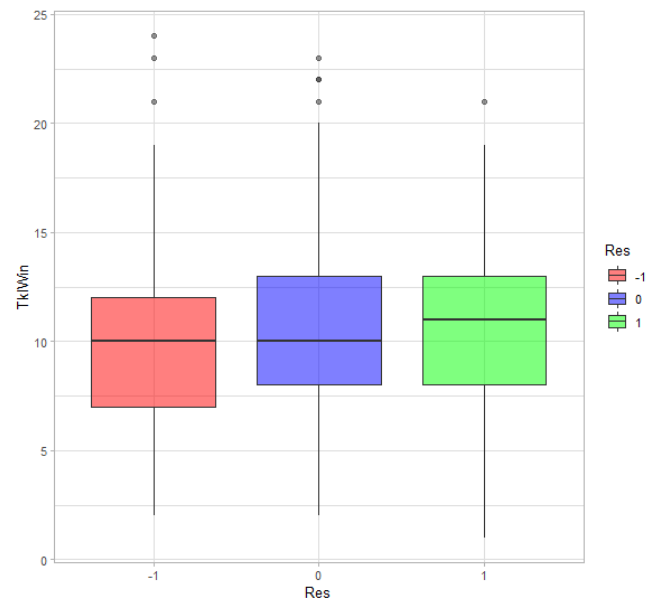
Infine la Figura 3.14 mostra come si comporta la relazione con **Recov**. Per entrambe le classi la distribuzione sembra più sbilanciata verso valori bassi quindi ad una loro maggior presenza, infatti entrambe le code più in basso sono più corte rispetto a quelle più in alto che sono più lunghe. Per quanto riguarda la mediana sembra equidistante dai quantili per entrambe le classi. Si nota che il pareggio presenta minor varianza rispetto alle altre due classi ma valori più alti soprattutto nei confronti della vittoria. Sembra perciò che un eccessivo numero di recuperi non porti alla vittoria. Si nota inoltre che ci sono numerosi outliers soprattutto per il pareggio.

### 3.2.2 Analisi relazioni tra covariate

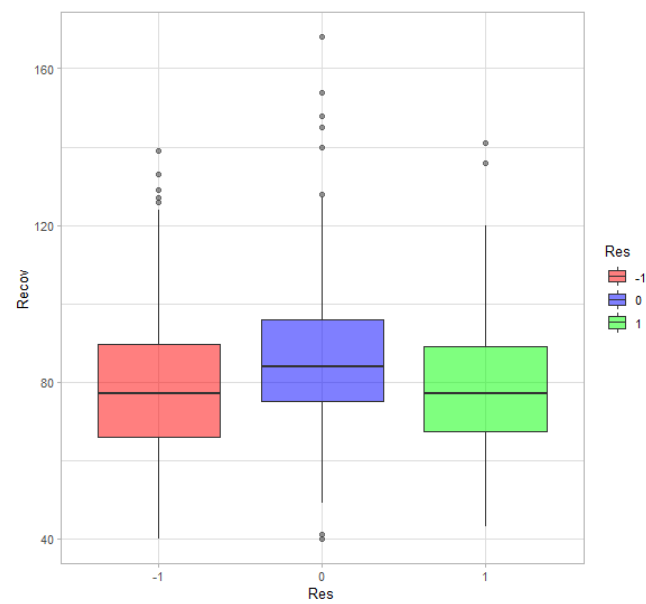
Per concludere l'attività di prepossening, non resta che analizzare le relazioni tra covariate per individuare possibili interazioni tra di loro che possono influenzare la variabile risposta. Chiaramente dato che ci sono più di 30 variabili e dunque, un grandissimo numero di combinazioni, non si sono esaminate tutte le relazioni ma sono state selezionate solo alcune per l'analisi, basandosi su teorie calcistiche esaminate durante la fase di studio del problema.

Di seguito si riporteranno le interazioni che sono state individuate come significative. Si sottolinea che nei grafici di dispersione si è inserito come terza variabile, la variabile risposta **Res**, dove ogni colore rappresenta una delle tre classi di **Res**. Tale scelta è





**Figura 3.13:** Boxplot della variabile risposta e della variabile numerica **TkWin**



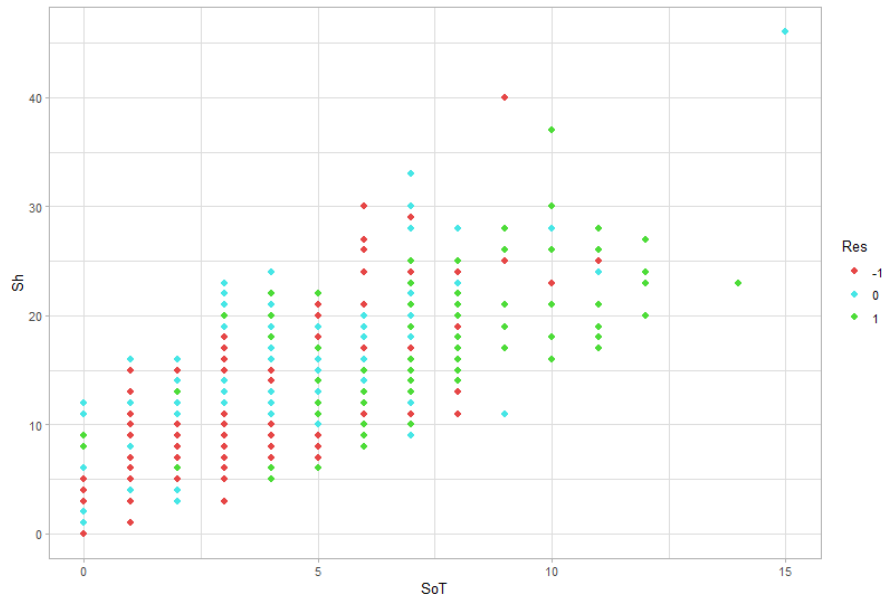
**Figura 3.14:** Boxplot della variabile risposta e della variabile numerica **Recov**

stata fatta per capire se i tre gruppi di classi sono ben separati e quindi è utile avere un'interazione che vada a spiegare questi tre gruppi.

Sono state individuate le seguenti tre interazioni con la variabile **Sh**:

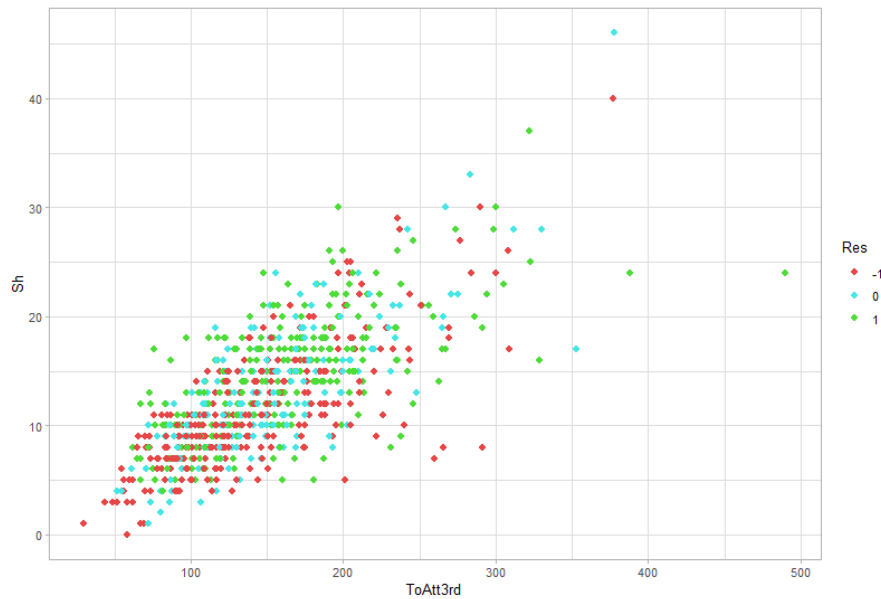
- \* Interazione tra **Sh** e **SoT**. Chiaramente si può dedurre facilmente che possa esserci una buona correlazione tra queste due variabili perché teoricamente più tiri vengono effettuati maggiori saranno i tiri in porta.

La relazione viene anche mostrata graficamente, infatti nella Figura 3.15 si può notare che c'è un'andamento positivo tra le due variabili, al crescere di una c'è un aumento quasi lineare dell'altra. Come si può notare dai colori inseriti nel grafico per indicare le tre classi della variabile risposta, l'effetto combinato delle due variabili è utile a spiegare la variabile risposta dato che, valori più bassi sono quasi sempre classificati come sconfitta, un po' più alti come pareggio, mentre quelli più alti sono quasi sempre classificati come vittoria. Molte volte i valori vengo ripetuti per molte osservazioni, quindi i valori nel grafico sono disposti in colonne e non sparsi.



**Figura 3.15:** Scatter plot tra **Sh** e **SoT**

- \* Interazione tra **Sh** e **ToAtt3rd**. È ragionevole ipotizzare che il numero di tocchi fatti nella trequarti avversaria possano creare azioni che portano ad effettuare un tiro verso la porta avversaria; è quindi possibile che tra le due variabili possa esserci una relazione. L'ipotesi è avvalorata dalla Figura 3.16 dove è presente una tendenza positiva quasi lineare tra le due variabili oltre a tre distribuzioni differenti dei dati in base alla loro classificazione.
- \* Interazione tra **Sh** e **ToAttPen**. Per la stessa ipotesi esposta nel punto precedente si è ipotizzato a tale interazione. La Figura 3.17 mostra che l'interazione è

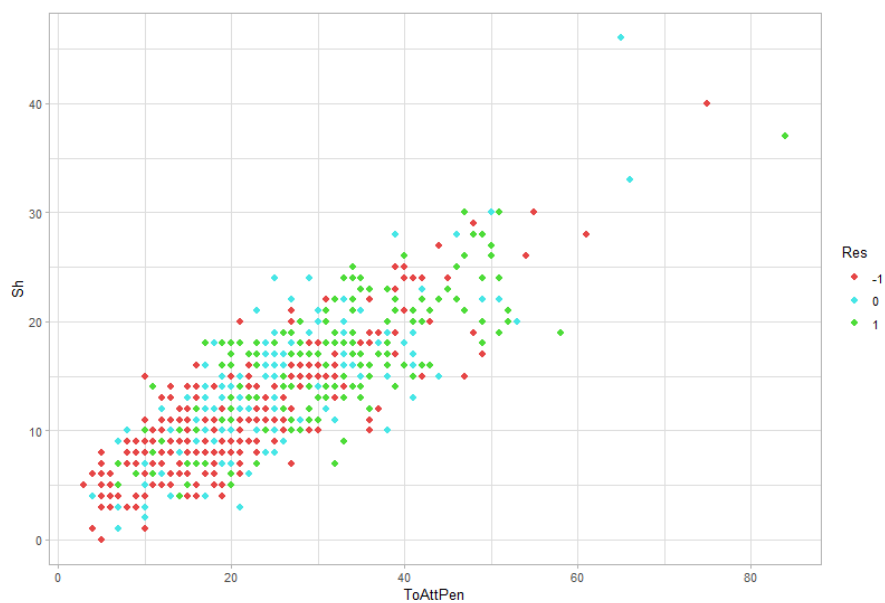
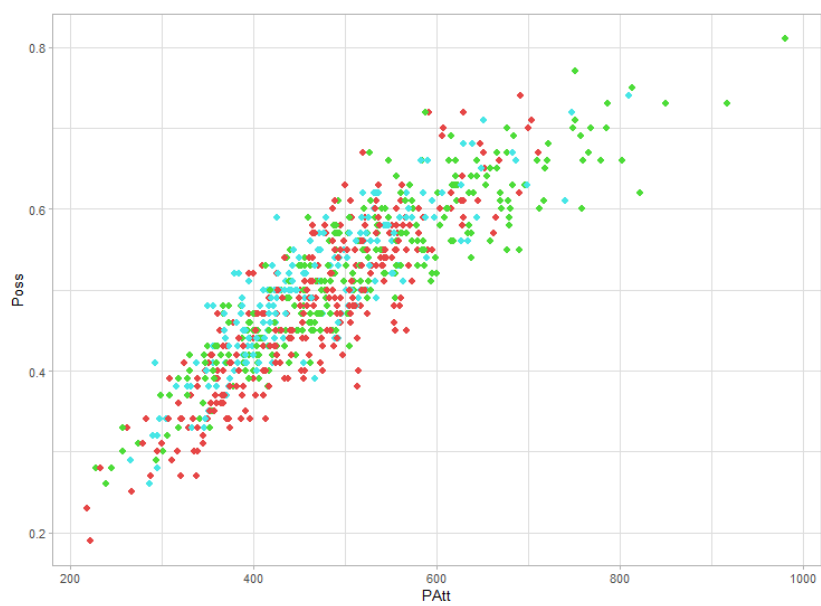


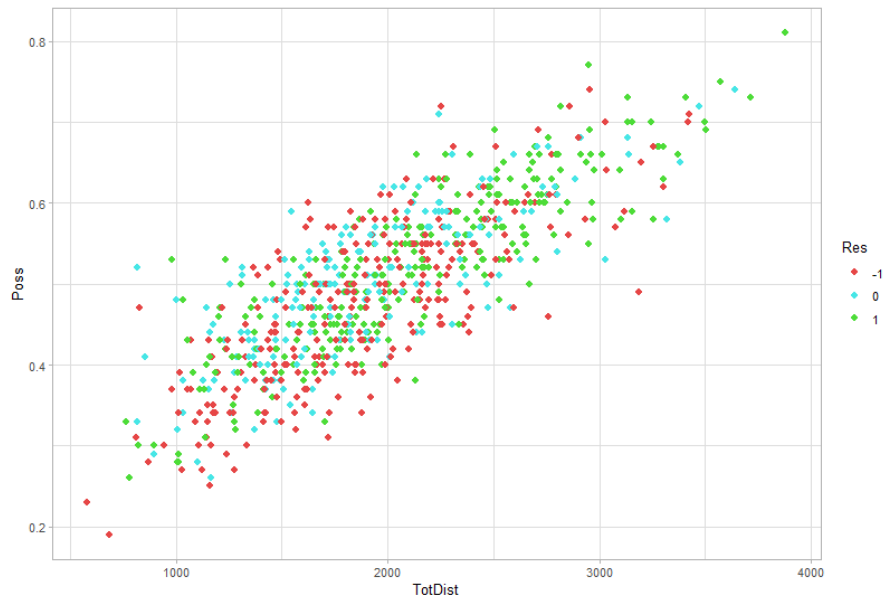
**Figura 3.16:** Scatter plot tra Sh e ToAtt3rd

giustificata da una tendenza positiva nel cresce delle due variabili oltre a tre distribuzioni differenti dei dati in base alla loro classificazione. Si nota graficamente una maggior linearità rispetto alla Figura 3.16; ciò è coerente con il fatto che i tocchi vengono effettuati all'interno dell'area di rigore avversaria e quindi ad una distanza ravvicinata dalla porta, ne consegue una maggior possibilità di effettuare tiri in porta.

Sono state individuate le seguenti tre interazioni con la variabile **Poss**:

- \* **Interazione tra Poss e PAtt.** È ragionevole ipotizzare che il possesso della palla possa incidere su quanto una squadra tenti di effettuare passaggi, cioè da un alto possesso della palla ci si aspetta un alto numero di passaggi tentati, viceversa con un valore basso di possesso. L'ipotesi è confermata dalla Figura 3.18 che mostra una relazione positiva è fortemente lineare tra le due ipotesi, oltre ad essere utili per spiegare l'andamento delle tre classi della variabile risposta.
- \* **Interazione tra Poss e TotDist.** Appare naturale ipotizzare che il possesso della palla e la distanza percorsa con il pallone siano in relazione tra loro. È altrettanto naturale aspettarci da un alto possesso della palla un alto numero di metri percorsi con la palla in possesso, viceversa con un valore basso di possesso. L'ipotesi è confermata dalla Figura 3.19 che mostra una relazione positiva abbastanza lineare tra le due ipotesi. Si segnala però che dal grafico sembra che non ci sia una chiara divisione delle osservazioni in tre gruppi, tale aspetto sarà tenuto in considerazione nella modellazione.

**Figura 3.17:** Scatter plot tra  $Sh$  e  $ToAttPen$ **Figura 3.18:** Scatter plot tra  $Poss$  e  $PAtt$



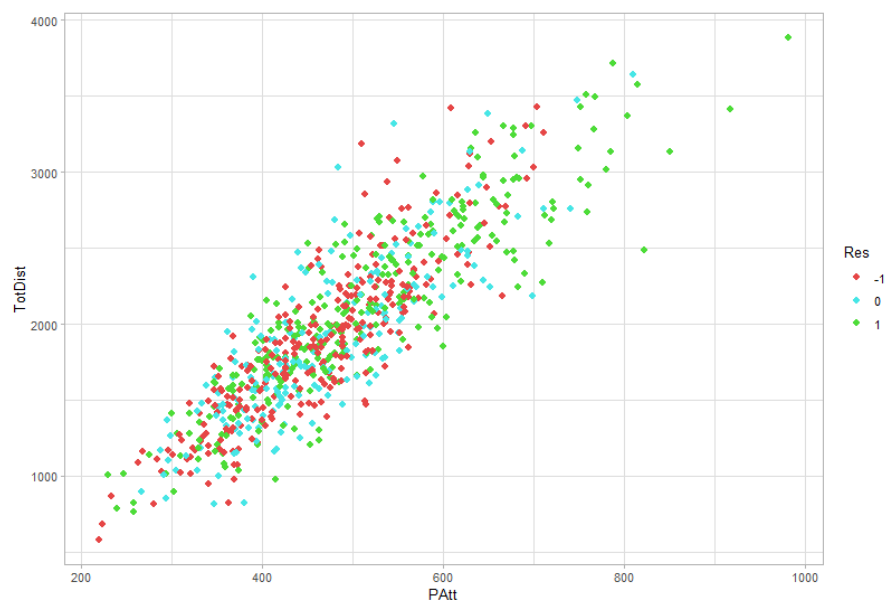
**Figura 3.19:** Scatter plot tra Poss e TotDist

Sono state individuate le seguenti tre interazioni con la variabile TotDist:

- \* Interazione tra TotDist e PAtt. Dato che per poter tentare di effettuare passaggi è possibile farlo solo se ci si muove con la palla, allora è possibile ipotizzare che ci sia una relazione tra queste variabili. Dalla Figura 3.20 si può notare che tra le due variabili c'è una forte relazione lineare e con una correlazione positiva.
- \* Interazione tra TotDist e PCmp%. Dato che per poter tentare di effettuare passaggi e completarli è possibile farlo solo se ci si muove con la palla, allora è possibile ipotizzare che ci sia una relazione tra queste variabili. Dalla Figura 3.20 si può notare che tra le due variabili c'è una relazione con correlazione positiva, con un andamento simile a una funzione esponenziale, ciò sarà tenuto conto nella modellazione per valutare se inserire oppure no una delle variabili con un grado superiore.

Infine sono state individuate le seguenti interazioni:

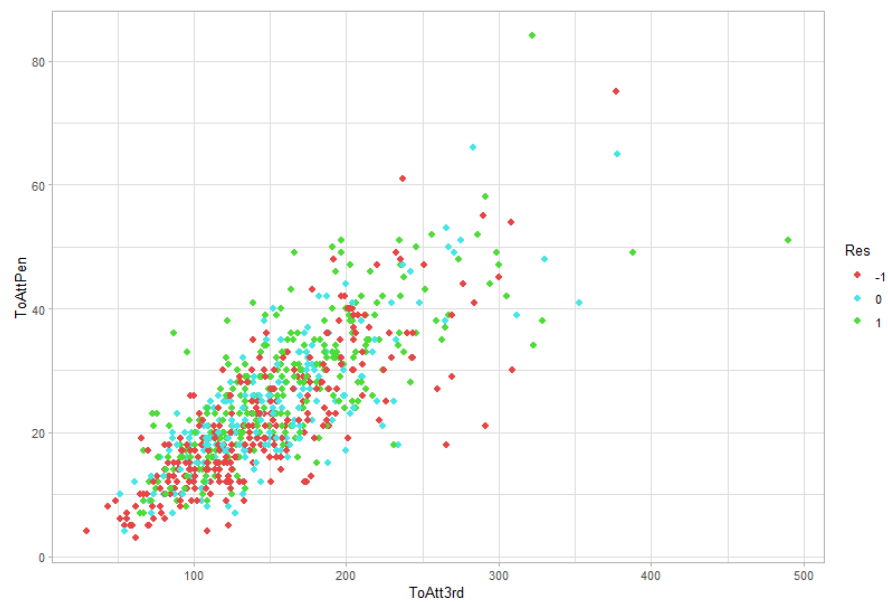
- \* Interazione tra ToAtt3rd e ToAttPen. Dato che le due variabili si riferiscono a due zone di campo adiacenti e interessanti a fini del l'esito della partita, si ipotizza che ci sia un'interazione. Nella Figura 3.22 si può notare un correlazione positiva molto lineare tra le due variabili che prova l'ipotesi. Si nota all'inizio che tutti i dati sono molto vicini ma che via via diventano più sparsi. Tale interazione sembra perciò utile a spiegare la variabile risposta.
- \* Interazione tra PAtt e PCmp%. Data la loro naturale correlazione si ipotizza che ci sia un'interazione tra loro. Infatti tale interazione è possibile vederla nella Figura 3.23 la quale sembra simile all'interazione TotDist\*PCmp%.



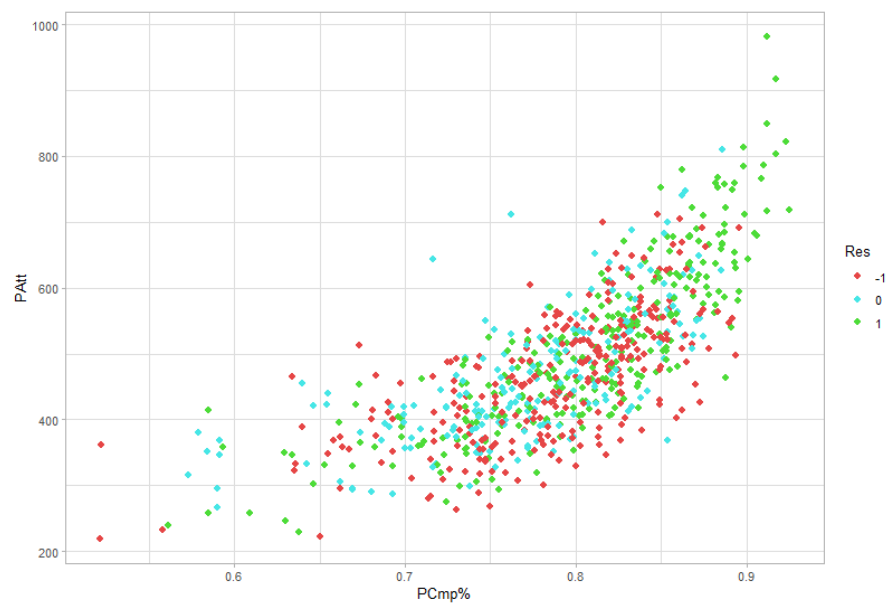
**Figura 3.20:** Scatter plot tra TotDist e PAtt



**Figura 3.21:** Scatter plot tra TotDist e PCmp%



**Figura 3.22:** Scatter plot tra ToAtt3rd e ToAttPen



**Figura 3.23:** Scatter plot tra PAtt e PCmp%

### 3.2.3 Collinearità

Per collinearità si intende quel fenomeno per il quale se più variabili esplicative altamente correlate vengono inserite nel modello, allora la loro alta correlazione andrà a nascondere la loro associazione con la variabile risposta. La soluzione per risolvere questo problema è quella di scegliere soltanto una sola variabile della relazione da inserire nel modello.

Nella Figura 3.24 viene mostrato il valore della correlazione per ogni possibile interazione tra variabili numeriche.

Come si può notare una maggior correlazione tra le variabili è concentrata nella prima parte del triangolo. Dal grafico possiamo vedere come tutte le interazioni che sono state descritte nella sottosezione precedente abbiano un'alta correlazione ma non eccessivamente alta. Si hanno i seguenti valori di correlazione:

- \* Le interazioni con la variabile **Sh**:
  - L'interazione tra **Sh** e **SoT** ha come valore 0,70 tale da giustificare l'inserimento dell'interazione.
  - L'interazione tra **Sh** e **ToAtt3rd** ha come valore 0,72 tale da giustificare l'inserimento dell'interazione.
  - L'interazione tra **Sh** e **ToAttPen** ha come valore 0,82 è un valore alto con un possibile rischio di collinearità. Tale valore però giustifica l'inserimento dell'interazione.
- \* Le interazioni con la variabile **Poss**:
  - L'interazione tra **Poss** e **PAtt** ha come valore 0,88 è un valore molto alto con un possibile rischio di collinearità. Tale valore però giustifica l'inserimento dell'interazione.
  - L'interazione tra **Poss** e **PAtt** ha come valore 0,81 è un valore alto con un possibile rischio di collinearità. Tale valore però giustifica l'inserimento dell'interazione.
- \* Le interazioni con la variabile **TotDist**:
  - L'interazione tra **TotDist** e **PAtt** ha come valore 0,87 è un valore molto alto con un possibile rischio di collinearità. Tale valore però giustifica l'inserimento dell'interazione.
  - L'interazione tra **TotDist** e **PCmp%** ha come valore 0,75 tale da giustificare l'inserimento dell'interazione.
- \* L'interazione tra **ToAtt3rd** e **PAttPen** ha come valore 0,79 tale da giustificare l'inserimento dell'interazione.
- \* L'interazione tra **PAtt** e **PCmp%** ha come valore 0,74 tale da giustificare l'inserimento dell'interazione.

Nella sottosezione precedente si poteva pensare di inserire interazioni abbastanza naturali ad esempio: **PAtt\*SPAtt**, **PAtt\*MPAtt** e, **PCmp%\*MPCmp%** e **PAtt\*LPCmp%**. Tali interazioni però sono composte da variabili che hanno un'alta correlazione tra loro, e quindi si ha il rischio di incorrere in un problema di collinearità. Una correlazione così alta era prevedibile dato che c'è una ridondanza dei dati tra le variabili. In questa



fase dell'analisi non si hanno abbastanza elementi per poter scegliere quale variabile tenere e quale no perciò tale scelta verrà rinviata alla fase di modellazione.

Il grafico suggerisce alcune interazioni che non sono state descritti ad esempio:

$Poss*ToAtt3rd$ ,  $Poss*SPAtt$ ,  $TotDist*ToAtt3rd$ ,  $PCmp\%*SPAtt$  e  $PCmp\%*MPAtt$ . Tali interazioni saranno analizzate durante la fase di modellazione per verificare se effettivamente sono significative per il modello.

Infine si nota una buona correlazione tra  $ToDefPen$  e  $ToDef3rd$ , l'interazione può essere inserita perché va a giustificare il fatto che la variabile  $ToDefPen$  combinata con  $ToDef3rd$  diventa significativa per la variabile risposta.

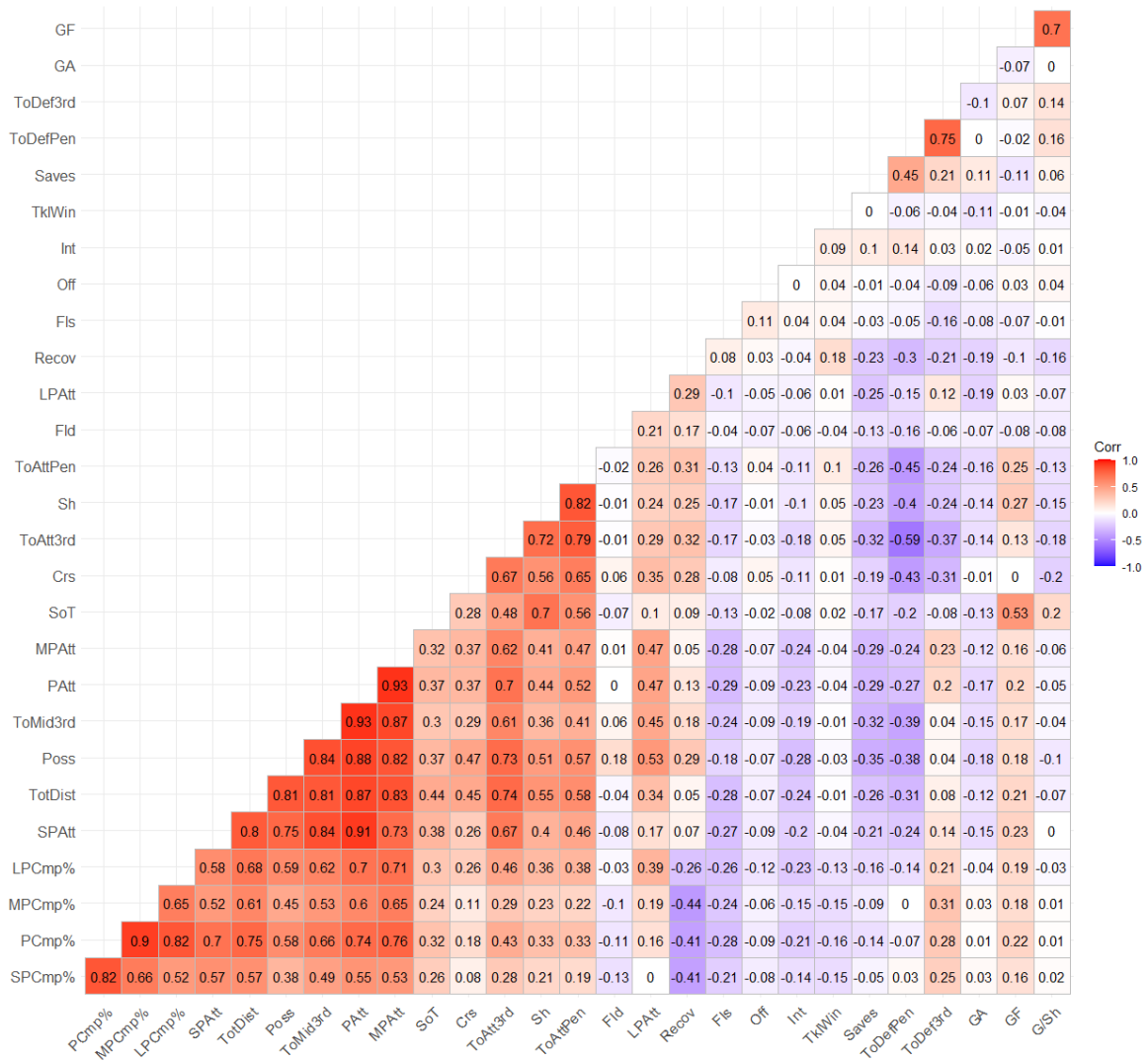


Figura 3.24: Grafico delle correlazioni di ogni coppia di variabili

### 3.3 Adattamento dataset al modello

Nelle sezioni precedenti si è descritto come si è costruito il dataset e come esso è stato strutturato. Tale struttura ha il vantaggio di rendere il dataset di facile interpretazione per un essere umano ma ci sono alcune criticità che non lo permettono di essere utilizzato correttamente all'interno del modello messo a disposizione dal pacchetto `BradleyTerry2`.

Sono state apportate le seguenti modifiche.

Innanzitutto il modello richiede per il suo funzionamento che le due variabili `Team` e `Vs` devono essere o di tipo fattore oppure un `data.frame`. Un `data.frame` è una lista di vettori, che devono avere tutti la stessa lunghezza, ma possono essere di tipo diverso: variabili nominali cioè fattori, variabili cardinali cioè vettori numerici; un `data.frame` può essere visto come una matrice ma con il tipo dei valori che può essere diverso.

Le variabili `Team` e `Vs` sono state trasformate in `data.frame` in modo da poter inserire al loro interno tutte le covariate descritte nella sezione precedente, ad esempio `Poss`, `Int` ecc., così che il modello capisca quali valori sono legati alla squadra indicata in `Team` e quali in `Vs` nella stessa partita.

Inoltre per indicare nel modello se la squadra giocava in casa o no, i valori della variabile `AtHome` non erano accettati, si è quindi convertito il valore `TRUE` in 1 mentre `FALSE` in 0.

#### 3.3.1 Implementazione dell'adattamento del dataset

Nella Sezione 5.1 viene mostrato il codice applicato per adeguare il dataset con le modifiche scritte precedentemente.

Tale codice ha l'obiettivo di prendere le due righe di ogni partita e di unirle insieme formando un'unica riga per ogni partita. Successivamente si elimineranno le righe delle partite giocate fuori casa (`AtHome = FALSE`) dalle squadre indicate in `Team` mentre le righe delle partite giocate in casa (`AtHome = TRUE`) dalle squadre indicate in `Team` conterranno il risultato della fusione.

Perciò si è creato un vettore vuoto per ogni covariata presente nel dataset, ad eccezione di `AtHome` che verrà gestita in un modo diverso. Il vettore `del` è il vettore che tiene traccia di quali righe saranno da eliminare. `k` è l'indice usato per scorrere il dataset per trovare i dati dell'avversario; `z` l'indice usato per inserire un nuovo elemento nel vettore `del`.

Il primo ciclo `for` scorre tutto il dataset alla ricerca delle righe con i dati delle partite giocate in casa dalla squadra indicata in `Team`, infatti al suo interno il primo costrutto `if` controlla se la partita è in casa per `Team` se sì, parte un secondo ciclo `for` che anche esso scorre tutto il dataset per cercare la riga con la partita giocata dalla squadra indicata in `Vs`; giocata ovviamente fuori casa. Perciò all'interno del secondo ciclo `for` c'è un costrutto `if` che controlla se la `j`-esima riga si riferisce alla stessa partita indicata nella `i`-esima riga, se sì allora si salvano tutti i dati nei vettori e si incrementa l'indice `k`. Se il primo `if` da esito negativo allora si andrà a inserire l'indice dell'`i`-esima riga nel vettore `del` perché contiene informazioni di una partita giocata fuori casa dalla squadra indicata in `Team` e viene incrementato l'indice di uno `z`.

Di seguito vengono riportati i comandi fatti per applicare le modifiche al dataset.

```
1 > soccern3 <- soccern2[-del,]
```

Con il precedente comando si va a creare un nuovo dataset con 380 righe, eliminando tutte quelle righe con valore **FALSE** su **AtHome**.

Con il comando mostrato nella Sezione 5.2 si va a modificare **Team** rendendolo un **data.frame**, andando a inserire i dati della riga relativi alla squadra che gioca in casa. Si inserisce come chiave **team = soccern3\$Team** e si indica che la partita è in casa per la squadra di riferimento con **at.home = 1**.

Con il comando mostrato nella Sezione 5.3 si va a modificare **Vs** rendendolo un **data.frame**, andando a inserire i dati della riga relativi alla squadra che gioca fuori casa. Si inserisce come chiave **team = soccern3\$Vs** e si indica che la partita è fuori casa per la squadra **Vs** con **at.home = 0**.

Per quanto riguarda il resto dei dati, vengono riportati attraverso l'inserimento dei vettori costruiti e riempiti precedentemente.



## 4 | MODELING PAIRED COMPARISONS

---

*Nel seguente capitolo verranno introdotti differenti modelli per la paired comparisons, iniziando con il Bradley-Terry model versione standard fino a presentare tutte le sue estensioni usate per l'analisi trattata. TO DO*

### 4.1 Il Bradley-Terry Model

Il Bradley-Terry model (**bradley1952rank**) asserisce che in una competizione tra due qualsiasi giocatori, detti player  $i$  e player  $j$  ( $i, j \in \{1, \dots, n\}$ ), la probabilità che  $i$  sia preferito a  $j$  è data dal rapporto tra  $\alpha_i$  e  $\alpha_j$ , dove  $\alpha_i$  e  $\alpha_j$  sono parametri che rappresentano la cosiddetta abilità dei due giocatori. Il modello standard non considera covariate e in generale, non presta alcuna attenzione all'eterogeneità causata dai soggetti dei confronti.

Formalmente, sia  $Y_{i,j}$  la variabile casuale associata al risultato della *paired comparison* tra oggetti  $i$  e  $j$ , con  $j > i \in \{1, \dots, n\}$ , dove nella forma più semplice, il modello dato è il seguente:

$$P(i \succ j) = P(Y_{i,j} = 1) = \frac{\exp(\alpha_i - \alpha_j)}{1 + \exp(\alpha_i - \alpha_j)} \quad (4.1)$$

Il modello può essere alternativamente espresso in forma di logit lineare:

$$\text{logit}(i \succ j) = \log\left(\frac{P(i \succ j)}{P(j \succ i)}\right) = \log\left(\frac{\exp(\alpha_i)}{\exp(\alpha_j)}\right) = \alpha_i - \alpha_j \quad (4.2)$$

La risposta del modello rappresenta la probabilità che un certo oggetto  $i$  è preferito rispetto ad un altro  $j$ ,  $i \succ j$ . La variabile  $Y_{i,j}$  essendo binaria può assumere solo due valori:  $Y_{i,j} = 1$  se l'oggetto  $i$  è preferito sull'oggetto  $j$  e  $Y_{i,j} = 0$  viceversa. I parametri  $\alpha_n$  rappresentano l'attrattiva o la forza del loro corrispondente oggetto. Chiaramente questi parametri di abilità devono essere stimati dal modello attraverso la massima verosimiglianza. È infine necessario un vincolo per identificare i parametri, ad esempio il vincolo di somma  $\sum_{i=1}^n \alpha_i = 0$  oppure il vincolo dell'oggetto di riferimento,  $\alpha_i = 0$  per un oggetto  $i \in \{1, \dots, n\}$ . Se il vincolo dell'oggetto di riferimento è usato, allora il valore dei parametri abilità degli altri oggetti  $j$  sarà la differenza rispetto all'oggetto di riferimento  $i$ .

Si sottolinea inoltre che il modello precedentemente descritto è chiamato modello non strutturato e l'obiettivo dell'analisi è di fare inferenza sul valore dei parametri abilità  $\alpha_n$  per stilare una classifica finale di tutti gli oggetti.

## 4.2 Il Bradley-Terry Model con ordered response categories

In molti contesti di comparazione tra oggetti, è possibile che sia richiesto di dare una scala di preferenza tra un oggetto e un altro. Supponiamo che due oggetti  $i$  e  $j$  siano confrontati e che la preferenza ora non sia più espressa i termini di: preferisco  $i$  al posto di  $j$  o viceversa ma, attraverso una scala di preferenza ad esempio, dando una forte preferenza a  $i$  rispetto a  $j$  o una leggera preferenza a  $i$  rispetto a  $j$  o non dando nessuna preferenza o preferendo leggermente  $j$  rispetto a  $i$  oppure preferire fortemente  $j$  rispetto a  $i$ . Dal modello descritto nella precedente sezione si passa da due classi di preferenza a cinque classi di preferenza.

Ovviamente il caso descritto è di interesse per le comparazioni calcistiche dato che non è sufficiente stimare la probabilità di vittoria o sconfitta ma deve essere obbligatoriamente preso in considerazione anche il pareggio come risultato. Si necessita perciò di un'estensione del classico Bradley-Terry model descritto precedentemente.

Modelli che consentono un numero generale di categorie  $K$ , sono stati proposti da (**tutz1986bradley**) e da (**bradley1952rank**), in particolare quest'ultimo mostrò come due modelli per l'analisi di dati ordinati possono essere adattati per le *ordinal paired comparisons*.

Il primo modello è il *cumulative link model* e sfrutta la rappresentazione della variabile casuale latente. In generale, sia  $H$  il numero di gradi della scala di preferenza e sia  $Z_{i,j}$  una variabile continua casuale latente e siano  $\theta_1 < \theta_2 < \dots < \theta_{H-1}$  le soglie tale che  $Y_{i,j} = h$  quando  $\theta_{h-1} < Z_{i,j} < \theta_h$ . Allora:

$$P(Y_{i,j} \leq h) = \frac{\exp(\theta_h + \alpha_i - \alpha_j)}{1 + \exp(\theta_h + \alpha_i - \alpha_j)} \quad (4.3)$$

con  $h \in \{1, \dots, H\}$  che indica le possibili *response categories*. I parametri  $\theta_h$  rappresentano le cosiddette soglie per le singole *response categories*, che determinano la preferenza per le specifiche categorie. In particolare,  $Y_{i,j} = 1$  rappresenta la massima preferenza per un oggetto  $i$  rispetto a un oggetto  $j$ .

In generale vi è imposta una simmetria del modello in modo che valga:  $P(Y_{i,j} = h) = P(Y_{i,j} = H - h + 1)$ . È quindi necessario che le soglie siano ristrette a  $\theta_i = -\theta_{H-h}$  e se,  $H$  è dispari,  $\theta_{H/2} = 0$ ; per garantire che le probabilità siano simmetriche. Per garantire che le probabilità siano non negative per le singole *response categories* vi è imposta la seguente limitazione:  $-\infty = \theta_0 < \theta_1 < \dots < \theta_{H-1} < \theta_H = \infty$ . Dato che la soglia per l'ultima categoria è fissata a  $\theta_H = \infty$  allora vale che  $P(Y_{i,j} \leq H) = 1$ . Si sottolinea che le soglie sono parametri che vanno stimate dai dati; inoltre la probabilità di una singola *response category* può essere derivata dalla differenza tra categorie adiacenti cioè:

$$P(Y_{i,j} = k) = P(Y_{i,j} \leq k + 1) - P(Y_{i,j} \leq k - 1)$$

Il modello delle *adjacent categories model*, così come il modello Bradley-Terry, ha anche una rappresentazione logit lineare ed è il seguente:

$$\text{logit}(Y_{i,j} \leq h) = \theta_h + \alpha_i - \alpha_j \quad (4.4)$$

Il secondo modello invece proposto da (**agresti1992analysis**) è il *adjacent categories model*. In questo caso il collegamento è applicato alle probabilità di risposte adiacenti, piuttosto che alle probabilità cumulative riducendosi così al modello

Bradley-Terry quando sono consentite solo due categorie e al modello proposto da (davidson1970extending) quando sono consentite solo tre categorie.

Il modello proposto da (davidson1970extending) risulta essere adatto per l'analisi sulle partite di calcio.

Il *adjacent categories model* è più semplice da interpretare rispetto ai *cumulative link models* poiché l'odds ratio si riferisce a un determinato risultato anziché a raggruppamenti di risultati.

Perciò dal modello proposto da (davidson1970extending), sia  $\theta$  il parametro stimato dai dati che indica quanto è auspicabile la non preferenza, nel nostro caso il pareggio, allora:

$$P(Y_{i,j} = 2 | Y_{i,j} \neq 0) = \frac{\exp(\alpha_i - \alpha_j)}{1 + \exp(\alpha_i - \alpha_j)}, \quad (4.5)$$

$$P(Y_{i,j} = 1) = \frac{\theta \sqrt{\exp(\alpha_i) * \exp(\alpha_j)}}{\exp(\alpha_i) + \exp(\alpha_j) + \theta \sqrt{\exp(\alpha_i) * \exp(\alpha_j)}}, \quad (4.6)$$

$$P(Y_{i,j} = 0 | Y_{i,j} \neq 1) = \frac{\exp(\alpha_j - \alpha_i)}{1 + \exp(\alpha_j - \alpha_i)} \quad (4.7)$$

Si è riportato la modellazione di tutti e tre i possibili risultati, con  $\alpha_n$  che rappresenta la forza degli oggetti in comparazione da stimare dai dati. La modellazione della vittoria (4.5) e della sconfitta (4.7) dell'oggetto  $i$  contro l'oggetto  $j$  rimane uguale alla modellazione (4.2) descritta precedentemente. Diversamente per il pareggio dove viene aggiunto il parametro  $\theta$ .

### 4.3 Il Bradley–Terry Model con variabili esplicative

Fin ad ora è stato presentato un modello che valutasse il grado di preferenza per un oggetto  $i$  rispetto a un oggetto  $j$ , senza che considerasse nessuna variabile. Chiaramente tale modello risulta essere inutile per le nostre analisi, dato che siamo interessati a capire quali variabili possono influenzare il risultato della comparazione. Si necessita perciò di un modello che tenga conto anche di variabili esplicative inserite durante l'analisi.

Sia  $\mathbf{x}_i = (x_{i1}, \dots, x_{iK})$  il vettore di  $K$  variabili esplicative per un certo oggetto  $i$  e  $\beta = (\beta_1, \dots, \beta_P)$  il vettore dei pesi stimati per ogni variabile presente in  $\mathbf{x}_i$ , allora si ha che il parametro abilità  $\alpha_i$  di un certo oggetto  $i$  è uguale a:

$$\alpha_i = \beta_1 x_{i1} + \dots + \beta_P x_{iP} \text{ con } i=1, \dots, n$$

Si ha quindi che il parametro abilità  $\alpha_i$  per un certo oggetto  $i$  è una combinazione lineare di variabili.

Il modello è stato presentato per la prima volta da (springall1973response); tale modello viene chiamato modello strutturato.

Grazie a questo modello se vi sono covariate che hanno un legame con la variabile risposta, tanto da influenzarne l'esito con quest'ultima allora, sarà possibile inserirle nel modello. Nel caso calcistico tali covariate possono essere il possesso della palla o il numero di falli fatti.

### 4.3.1 Il Bradley–Terry Model con effetto partite in casa

Nel modello descritto nella sezione 4.2, si era scritto che, era necessario imporre la simmetria tra le categorie di risposta. Purtroppo la simmetria imposta risulta essere non adeguata in alcuni contesti, tra questi vi è anche il calcio; poiché l'ordine dei oggetti conta. Infatti nel calcio la prima squadra che viene indicata tra le due squadre, è quella che gioca in casa, dove teoricamente dovrebbe avere un vantaggio sull'avversario. Perciò, il presupposto che le categorie di risposta siano simmetriche non vale più. Un possibile modello riadattato al problema esposto è il seguente:

$$P(i \succ j) = P(Y_{i,j} = 1) = \frac{\exp(\delta + \alpha_i - \alpha_j)}{1 + \exp(\delta + \alpha_i - \alpha_j)} \quad (4.8)$$

Nel qual'è il modello (4.1) riadatto e da cui possiamo derivare il modello (4.3) riadatto che è il seguente:

$$P(Y_{i,j} \leq h) = \frac{\exp(\delta + \theta_h + \alpha_i - \alpha_j)}{1 + \exp(\delta + \theta_h + \alpha_i - \alpha_j)} \quad (4.9)$$

Come si può vedere il vantaggio di giocare in casa, in generale l'effetto d'ordine; viene trattato come una variabile esplicativa. Infatti se  $\delta > 0$  allora viene attribuito un vantaggio all'oggetto  $i$ , nel contesto calcistico significa che gioca in casa; aumentando la probabilità che vinca il confronto o nel caso di *ordered response categories*, di avere un risultato superiore rispetto all'oggetto  $j$ . Chiaramente il peso di  $\delta$  deve essere stimato dai dati.

Il modello (4.8) così come il modello (4.9), hanno anche una rappresentazione logit lineare e sono le seguenti:

Per (3.8)

$$\text{logit}(i \succ j) = \delta + \alpha_i - \alpha_j \quad (4.10)$$

Per (3.9)

$$\text{logit}(Y_{i,j} \leq h) = \delta + \theta_h + \alpha_i - \alpha_j \quad (4.11)$$



## 5 | APPENDICE A

### 5.1 Codice di adattamento dataset per il trasferimento di dati

```
1 PossVs <- c()
2 ShVs <- c()
3 ShTVs <- c()
4 G.ShVs <- c()
5 PAttVs <- c()
6 PCmp.Vs <- c()
7 SPAttVs <- c()
8 SPCmp.Vs <- c()
9 MPAttVs <- c()
10 MPCmp.Vs <- c()
11 LPAttVs <- c()
12 LPCmp.Vs <- c()
13 ToDef3rdVs <- c()
14 ToMid3rdVs <- c()
15 ToAtt3rdVs <- c()
16 ToAttPenVs <- c()
17 ToDistVs <- c()
18 FlsVs <- c()
19 FldVs <- c()
20 CrsVs <- c()
21 IntVs <- c()
22 TklWinVs <- c()
23 RecovVs <- c()
24 del <-c()
25 k <- 1
26 z <- 1
27 for(i in 1:nrow(soccern)){
28   if(soccern$AtHome[i] == TRUE){
29     for(j in 1:nrow(soccern)){
30       if((soccern$Team[j] == soccern$Vs[i]) && (soccern$Team[i] ==
31         soccern$Vs[j]) && (soccern$AtHome[j] == FALSE)){
32         PossVs[k] <- soccern$Poss[j]
33         ShVs[k] <- soccern$Sh[j]
34         ShTVs[k] <- soccern$SoT[j]
35         G.ShVs[k] <- soccern$G.Sh[j]
36         PAttVs[k] <- soccern$PAtt[j]
37         PCmp.Vs[k] <- soccern$PCmp.[j]
38         SPAttVs[k] <- soccern$SPAtt[j]
39         SPCmp.Vs[k] <- soccern$SPCmp.[j]
40         MPAttVs[k] <- soccern$MPAtt[j]
41         MPCmp.Vs[k] <- soccern$MPCmp.[j]
42         LPAttVs[k] <- soccern$LPAtt[j]
43         LPCmp.Vs[k] <- soccern$LPCmp.[j]
44         ToDef3rdVs[k] <- soccern$ToDef3rd[j]
45         ToMid3rdVs[k] <- soccern$ToMid3rd[j]
46         ToAtt3rdVs[k] <- soccern$ToAtt3rd[j]
47         ToAttPenVs[k] <- soccern$ToAttPen[j]
48         ToDistVs[k] <- soccern$TotDist[j]
```

```

48     FlsVs[k] <- soccern3$Fls[j]
49     FldVs[k] <- soccern3$Fld[j]
50     CrsVs[k] <- soccern3$Crs[j]
51     IntVs[k] <- soccern3$Int[j]
52     TklWinVs[k] <- soccern3$TklWin[j]
53     RecovVs[k] <- soccern3$Recov[j]
54     k <- k + 1
55   }
56 }
57 }
58 else{
59   del[z] <- i
60   z <- z + 1
61 }
62 }

```

## 5.2 Codice per la creazione del data.frame Team

```

1 > soccern3$Team <- data.frame(team = soccern3$Team, GF = soccern3$GF,
  GA = soccern3$GA, at.home = 1, Poss = soccern3$Poss, Sh = soccern3$
  Sh, SoT = soccern3$SoT, G.Sh = soccern3$G.Sh, PAtt = soccern3$PAtt,
  PCmp. = soccern3$PCmp., SPAtt = soccern3$SPAtt, SPCmp. = soccern3$
  SPCmp., MPAtt = soccern3$MPAtt, MPCmp. = soccern3$MPCmp., LPAtt =
  soccern3$LPAtt, LPCmp. = soccern3$LPCmp., ToDef3rd = soccern3$
  ToDef3rd, ToAtt3rd = soccern3$ToAtt3rd, ToAttPen = soccern3$ToAttPen,
  TotDist = soccern3$TotDist, Fls = soccern3$Fls, Fld = soccern3$Fld,
  Crs = soccern3$Crs, Int = soccern3$Int, TklWin = soccern3$TklWin,
  Recov = soccern3$Recov)

```

## 5.3 Codice per la creazione del data.frame Vs

```

1 > soccern3$Vs <- data.frame(team = soccern3$Vs, GF = GFVs, GA = GAVs,
  at.home = 0, Poss = PossVs, Sh = ShVs, SoT = ShTVs, G.Sh = G.ShVs,
  PAtt = PAttVs, PCmp. = PCmp.Vs, SPAtt = SPAttVs, SPCmp. = SPCmp.Vs,
  MPAtt = MPAttVs, MPCmp. = MPCmp.Vs, LPAtt = LPAttVs, LPCmp. = LPCmp.
  Vs, ToDef3rd = ToDef3rdVs, ToAtt3rd = ToAtt3rdVs, ToAttPen =
  ToAttPenVs, TotDist = TotDistVs, Fls = FlsVs, Fld = FldVs, Crs = CrsVs
  , Int = IntVs, TklWin = TklWinVs, Recov = RecovVs)

```

## 6 | CONCLUSIONI

---

MEMO Riassunto del lavoro/risultati ottenuti, possibili estensione e migliorie che possono essere apportate. Sottolineare che alcune variabili possono avere un peso differente a seconda della lega in cui si svolge la partita, (ad esempio Premier league è un campionato più fisico con alti ritmi rispetto alla Serie A che è più "tattica") TO DO



# BIBLIOGRAFIA

---



# SITOGRAFIA

---