Analisi dei Terremoti e delle faglie nel mondo (1970-2025)

Introduzione

In questo lavoro di gruppo, abbiamo deciso di analizzare un dataset preso USGS.gov, che contiene varie informazioni sui terremoti avvenuti in tutti il mondo dal 1970 al 2025. Il dataset è stato selezionato in modo da avere solo terremoti di magnitudo superiore a 5.0 della scala Richter. Ci siamo limitati a questa magnitudo in quanto il sito consente di scaricare fino a 20.000 eventi la volta, quindi per coprire tutta la serie storica è stato necessario unificare tutte le richieste creando un unico dataset con 87798. Inoltre, dal sito globalquakemodel.org il quale contiene la mappa di tutte le faglie attive nel mondo. In questo modo abbiamo potuto confrontare le posizioni dei terremoti rispetto alle faglie. I dati sono stati analizzati tenendo conto sia della loro posizione geografica e di altre caratteristiche presenti nel dataset e sia della loro frequenza nel corso del tempo. Queste analisi sono state effettuate sia attraverso l'utilizzo di mappe, sia attraverso l'utilizzo di grafici al fine di descrivere al meglio tutte le variabili quantitative e qualitative presenti.

Dataset Faglie

Il dataset contiene la mappa di tutte le faglie attive presenti nel mondo, ed è possibile importarlo tramite il seguente codice:

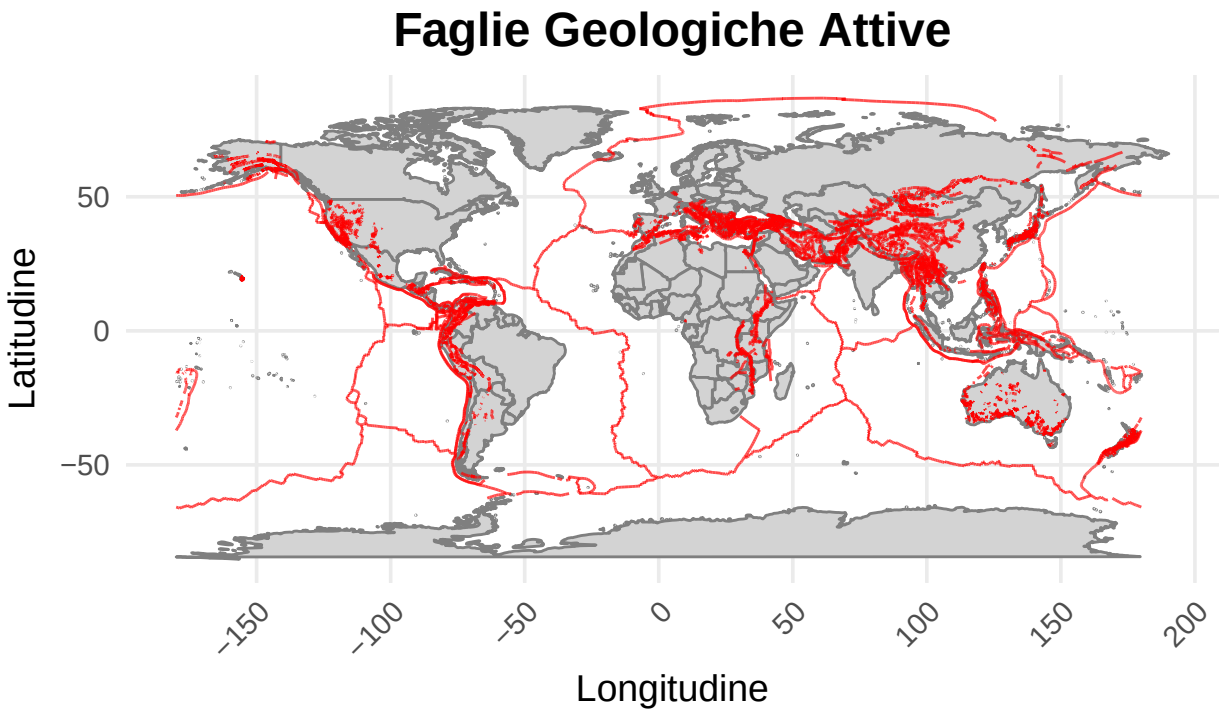
```
library(readr)
library(sf)
library(ggplot2)
library(dplyr)
library(maps)
library(tidyr)
library(RColorBrewer)
library(stringr)
library(rnaturalearth)
library(rnaturalearthdata)
library(ggrepel)
library(lubridate)
```

Per semplicità si è deciso di presentare tutte le librerie utilizzate nel lavoro nel precedente blocco di codice.

```
faglie <- st_read("gem_active_faults.shp")
```

```
## Reading layer 'gem_active_faults' from data source
##   'C:\Users\Roberto\Desktop\Progetto in R. L-D-R\gem_active_faults.shp'
##   using driver 'ESRI Shapefile'
## Simple feature collection with 16195 features and 26 fields
## Geometry type: LINESTRING
## Dimension:     XY
## Bounding box:  xmin: -180 ymin: -66.163 xmax: 180 ymax: 86.805
## CRS:           NA
```

```r
ggplot() +
  # Aggiungi la mappa del mondo
  borders("world", colour = "gray50", fill = "lightgray") +
  # Aggiungi le faglie
  geom_sf(data = faglie, color = "red", size = 1, alpha = 0.7) +
  labs(title = "Faglie Geologiche Attive", x = "Longitudine", y = "Latitudine",
           color = "Magnitudo") +
  theme_minimal(base_size = 14) +
  theme(
    axis.text.x = element_text(angle = 45, hjust = 1),
    plot.title = element_text(hjust = 0.5, size = 18, face = "bold"),
    legend.position="right")
```



Nel grafico, viene mostrata la mappa nel mondo in grigio, e in rosso, le faglie geologiche attive. Come si può vedere le faglie si distribuiscono principalemente lungo i confini delle placche tettoniche con una forte concentrazione nella parte sud-ovest dell'Asia a formare la catena dell' Himalaya. La presenza di faglie geologiche è di particolare interesse in quanto nei pressi di queste zone si osserva una maggiore probabilità che vi siano terremoti. Questo fenomeno verrà visualizzato in seguito, attraverso il dataset "Earthquake" in cui è presente la lista dei terremoti registrati dal 1970-2025.

Dataset Earthquake:

I dati sono stati presi dal sito USGS.gov filtrati con una magnitudo superiore a 5.0. Essendo la frequenza dei terremoti correlata alla magnitudo il sito consentiva solo di scaricare 20000 eventi per volta, producendo troppe richieste di dati all'ente fornitore. Inoltre, il dataset sull'intero fenomeno era piuttosto frammentato si è deciso quindi di unire le informazioni distribuite su diversi anni in un unico blocco per avere una visione globale del fenomeno.

In R, i dati sono stati importati tramite il seguente codice:

```
terremoti <- read.csv("Earthquake_1970-2025.csv")
```

Analisi Premilinare.

Il nostro dataset è composto da 22 variabili di varia natura per un totale di quasi 88000 osservazioni. Per semplicità, mostriamo un breve estratto delle variabili piu significative usate nell'analisi del fenomeno.

```
library(pander)
pander(head(terremoti %>% select(latitude, longitude, depth, mag, nst, type, time)))
```

latitude	longitude	depth	mag	nst	type	time
-20.18	-70.62	35	5	37	earthquake	2024-12-31T23:13:20.048Z
-6.668	150.6	10	5.1	61	earthquake	2024-12-31T20:09:41.043Z
-4.05	151.6	14.52	5	59	earthquake	2024-12-31T17:09:39.374Z
-17.66	168.2	66.61	5.1	121	earthquake	2024-12-30T05:49:02.808Z
-29.93	-72	10	5.5	127	earthquake	2024-12-30T05:41:06.678Z
-29.92	-72.06	10	5.5	178	earthquake	2024-12-30T05:40:49.261Z

Nella seguente tabella, le variabili indicano:

- **latitudine e longitudine**: rappresentano le coordinate geografiche di dove è avvenuto il terremoto.
- **depth**: La profondità, misurata in km rispetto alla superficie terrestre.
- **mag**: la magnitudo del terremoto in scala Richter.
- **nst**: numero di stazioni che hanno registrato il terremoto.
- **type**: l'origine del terremoto inteso come causa scatenante. (Terremoto terrestre, esplosione nucleare, collasso di miniere, frane ed esplosioni.)
- **time**: data e ora della rilevazione del fenomeno.

Con la funzione summary mostriamo le caratteristiche delle variabili quantitative mensionate sopra.

```
pander(summary(terremoti %>% select(latitude, longitude)))
```

latitude	longitude
Min. :-77.080	Min. :-180.00
1st Qu.:-19.215	1st Qu.: -72.48
Median : -3.692	Median : 102.12
Mean : 1.003	Mean : 40.61
3rd Qu.: 23.936	3rd Qu.: 143.03
Max. : 87.386	Max. : 180.00

```
pander(summary(terremoti %>% select(depth, mag, nst)))
```

depth	mag	nst
Min. : -3.00	Min. :5.000	Min. : 0.0
1st Qu.: 10.00	1st Qu.:5.100	1st Qu.: 69.0

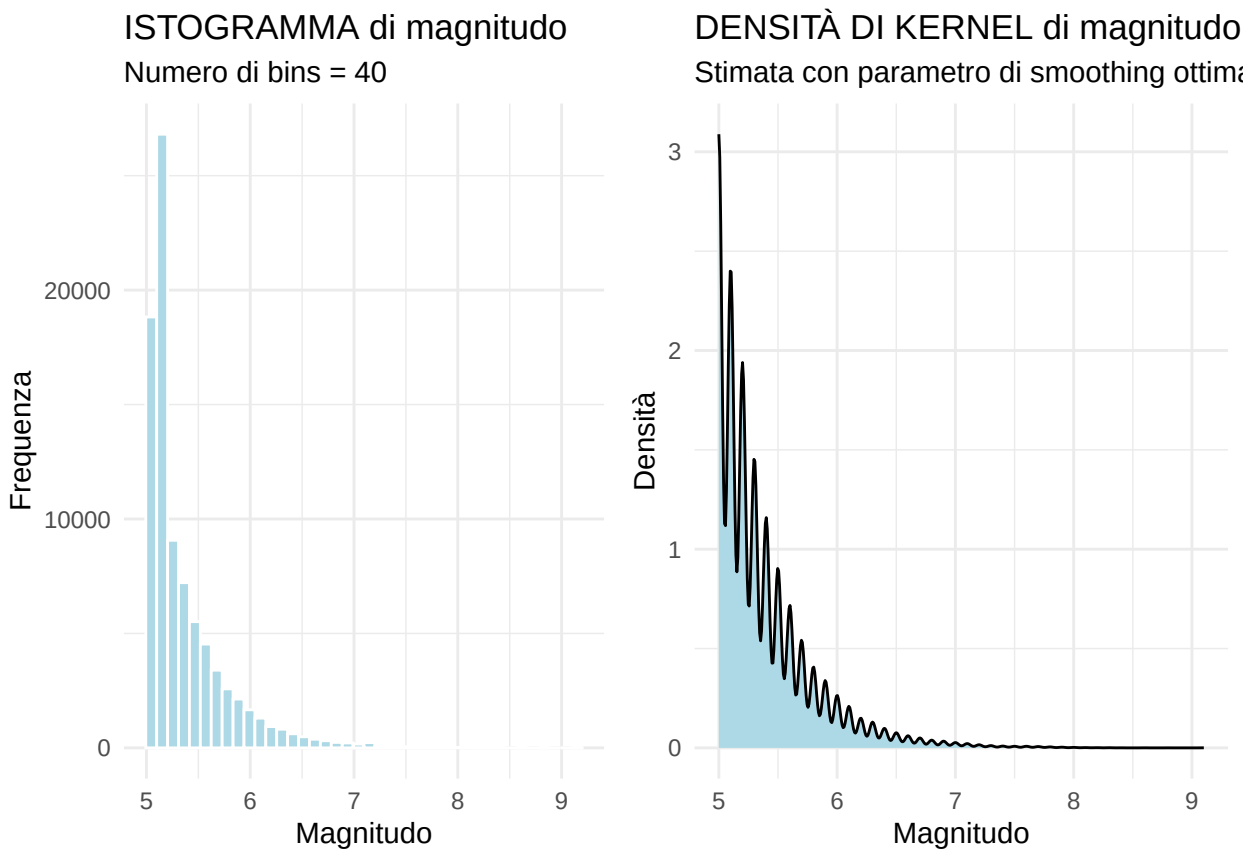
depth	mag	nst
Median : 33.00	Median :5.200	Median :122.0
Mean : 67.16	Mean :5.363	Mean :162.1
3rd Qu.: 57.00	3rd Qu.:5.500	3rd Qu.:219.0
Max. :700.00	Max. :9.100	Max. :934.0
NA	NA	NA's :58768

Ciò che è possibile notare è che per la variabile nst ci sono diversi dati mancanti (NA). Per la variabile depth, si può notare che la mediana e la media non coincidono, lasciando intendere in questa prima fase, la presenza di asimmetria nei dati. Maggiori conferme si hanno guardando la differenza tra il terzo quartile(3rd Qu) e il massimo(Max). Il terzo quartile della variabile mag, ci suggerisce che il 75% dei dati non supera il 5.5 di magnitudo.

Analisi Quantitativa

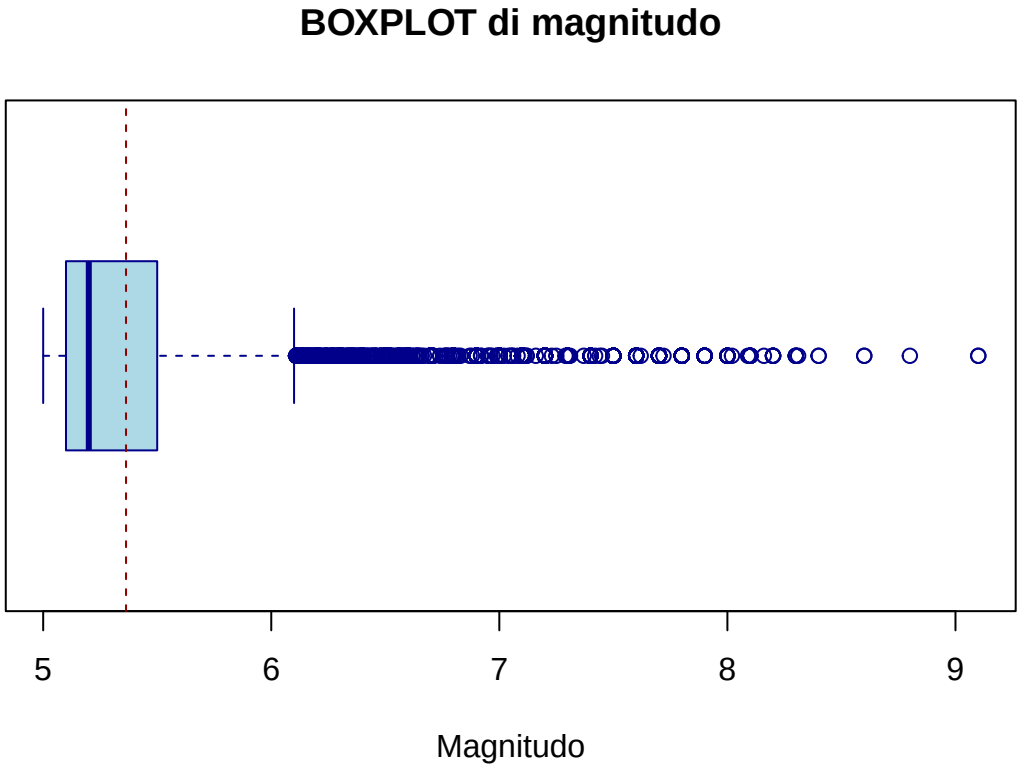
Per iniziare l'esplorazione delle variabili quantitative presenti nel dataset, abbiamo deciso di usare un istogramma per rappresentare la magnitudo, che rappresenta una delle variabili più importanti per l'analisi del fenomeno.

```
hist = ggplot(terremoti, aes(x=mag)) +
          geom_histogram(fill="lightblue", color="white", bins=40) +
          theme_minimal() +
          labs(title="ISTOGRAMMA di magnitudo",
               subtitle="Numero di bins = 40",
               x="Magnitudo",
               y="Frequenza")

kernel =  ggplot(terremoti, aes(x=mag)) +
            geom_density(fill="lightblue", bw=bw.nrd0(terremoti$mag)) +
            theme_minimal() +
            labs(title="DENSITÀ DI KERNEL di magnitudo",
                 subtitle="Stimata con parametro di smoothing ottimale",
                 x="Magnitudo",
                 y="Densità")

library(gridExtra)
grid.arrange(hist, kernel, nrow=1)
```



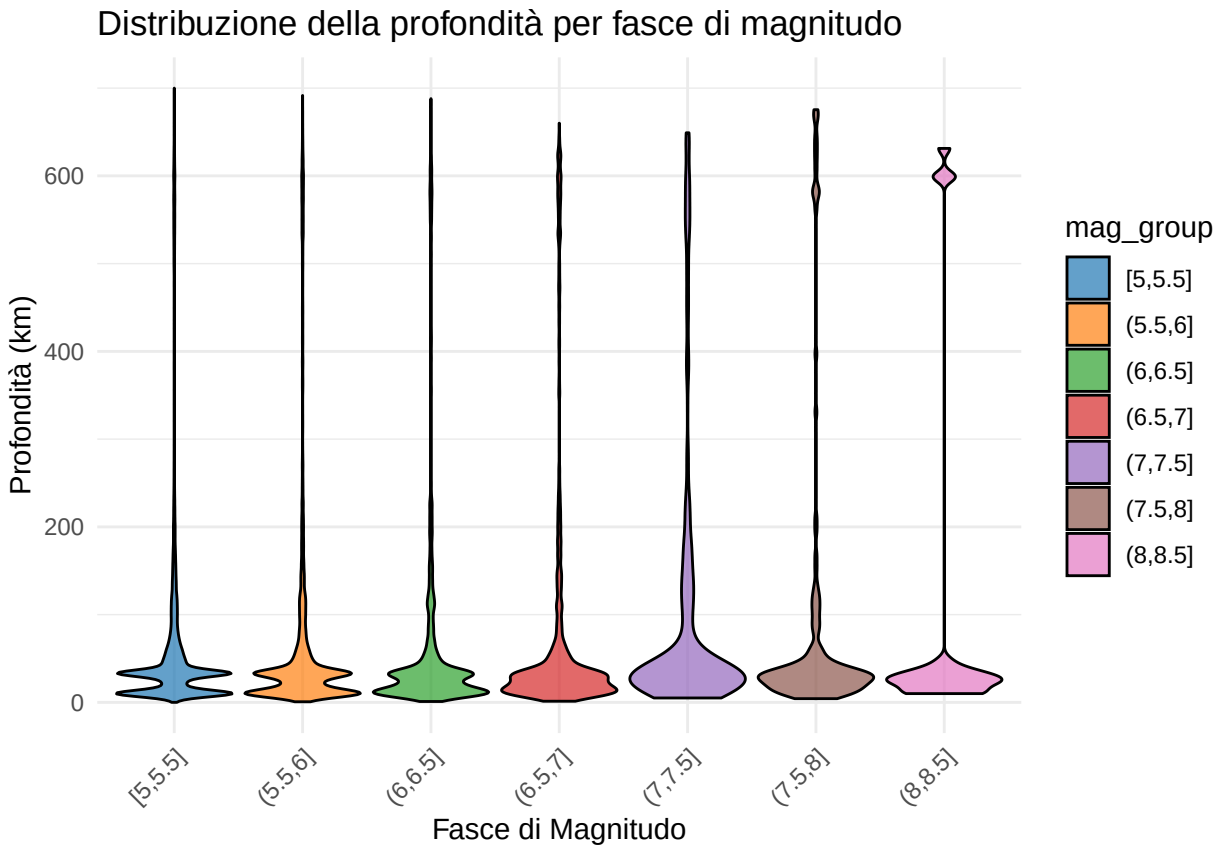
Come evidenziato già nell'analisi preliminare anche dall'esame dell'istogramma e della funzione di densità di Kernel, si evince che la maggior parte dei terremoti presenta una magnitudo inferiore a 6. Tuttavia si nota una forte asimmetria positiva con una coda prolungata che evidenzia il verificarsi di terremoti con un valore di magnitudo molto superiore la media. Per questo motivo abbiamo voluto esplorare meglio questo andamento riportiamo di seguito anche il box-plot della distribuzione della magnitudo che conferma la presenza di outliers in corrispondenza di valori di magnitudo superiori circa a 6.

```
boxplot(terremoti$mag, col="lightblue", border="darkblue", horizontal=TRUE,
        main="BOXPLOT di magnitudo", xlab="Magnitudo")
abline(v=mean(terremoti$mag), lty=2, col="darkred")
```

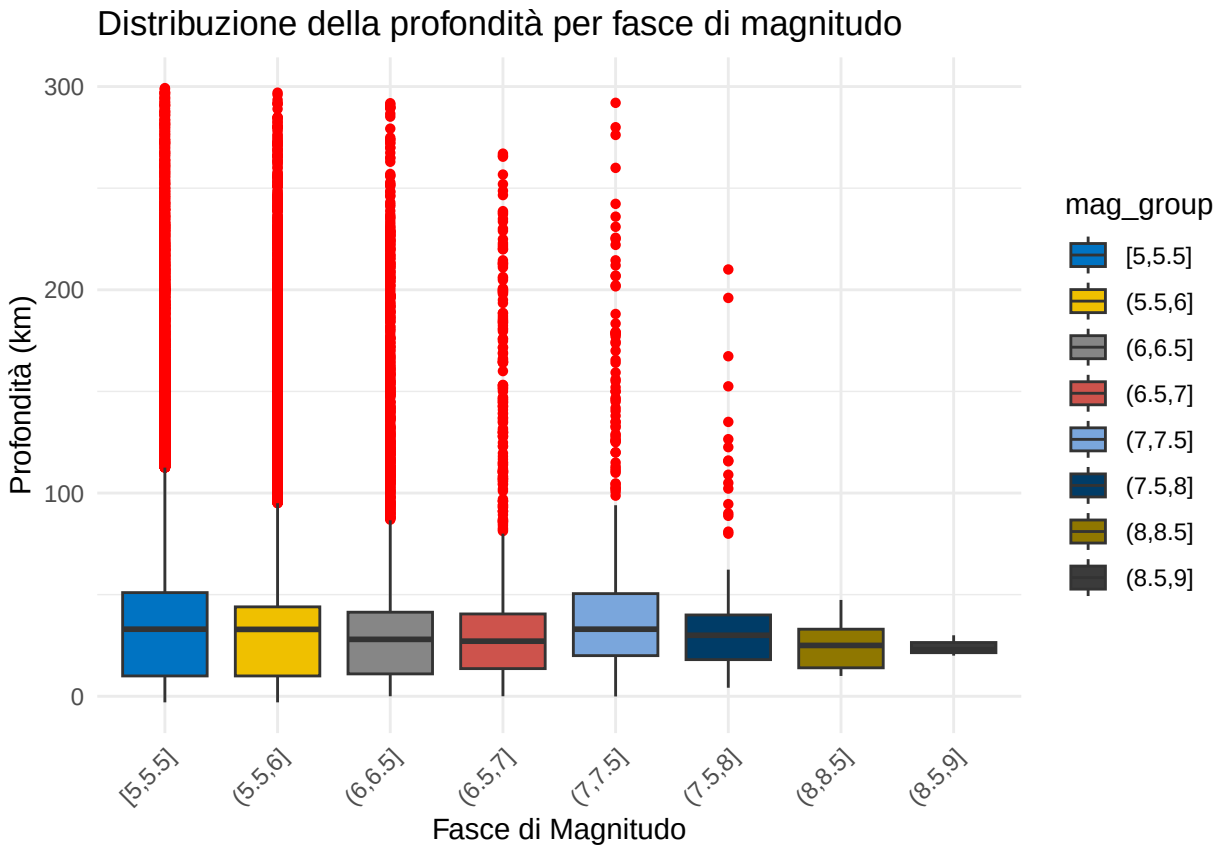


Dalla descrizione delle variabili presenti nel dataset abbiamo ritenuto che ci potesse essere una relazione significativa fra la profondità a cui avviene il fenomeno e la magnitudo dello stesso. A tal fine abbiamo scelto una rappresentazione basata sul box-plot e il violin.plot. A causa della grossa quantità di informazioni al fine di produrre una rappresentazione migliore abbiamo raggrupato in fasce i livelli di magnitudo con un passo di 0.5.

```
library(dplyr)
library(ggplot2)

# Filtra i dati e crea le fasce di magnitudo
DS3_filtered <- terremoti %>%
  filter(depth > 0) %>%  # Rimuove profondità negative o zero
  mutate(mag_group = cut(mag, breaks = seq(5, 9, by = 0.5), include.lowest = TRUE)) %>%
  filter(!is.na(mag_group)) %>%  # Rimuove fasce di magnitudo senza dati
  group_by(mag_group) %>%
  filter(n() >= 10) %>%  # Mantiene solo gruppi con almeno 10 osservazioni
  ungroup()

# Creiamo il violin plot
custom_colors <- c("#1F77B4", "#FF7F0E", "#2CA02C", "#D62728", "#9467BD", "#8C564B", "#E377C2", "#7F7F7

ggplot(DS3_filtered, aes(x = mag_group, y = depth, fill = mag_group)) +
  geom_violin(scale = "width", alpha = 0.7, color = "black") +  # Bordo nero
  scale_fill_manual(values = custom_colors) +  # Usa la palette personalizzata
  labs(title = "Distribuzione della profondità per fasce di magnitudo",
       x = "Fasce di Magnitudo",
       y = "Profondità (km)") +
  theme_minimal() +
  theme(axis.text.x = element_text(angle = 45, hjust = 1, vjust = 1))
```




```
DS3_filtered <-terremoti %>%
  filter(depth < 300) %>%  # Escludiamo solo outlier estremi
  mutate(mag_group = cut(mag, breaks = seq(5, 9, by = 0.5), include.lowest = TRUE))

# Rimuovi le fasce di magnitudo che non contengono dati
DS3_filtered <- DS3_filtered %>%
  filter(!is.na(mag_group))

# Crea il grafico
library(ggsci)

ggplot(DS3_filtered, aes(x = mag_group, y = depth, fill = mag_group)) +
  geom_boxplot(outlier.colour = "red", outlier.shape = 16) +
  scale_fill_jco() +  # Usa la palette "jco"
  labs(title = "Distribuzione della profondità per fasce di magnitudo",
       x = "Fasce di Magnitudo",
       y = "Profondità (km)") +
  theme_minimal() +
  theme(axis.text.x = element_text(angle = 45, hjust = 1, vjust = 1))
```



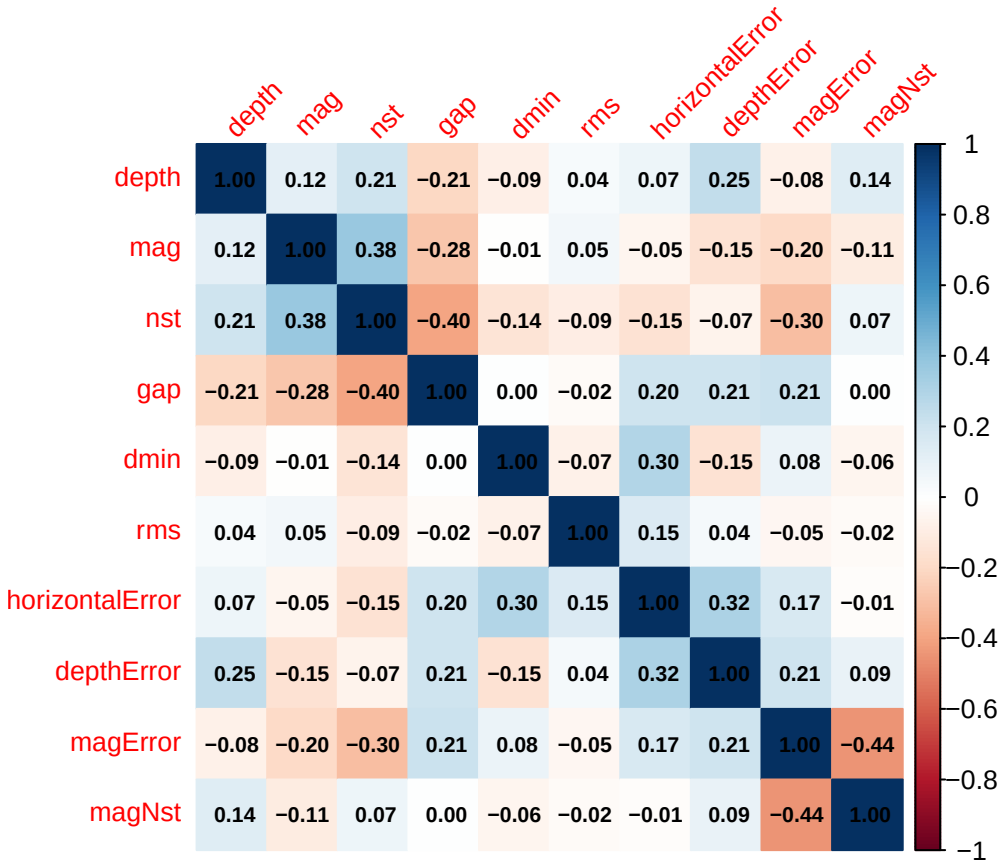
Successivamente, per capire l'esistenza di relazioni tra le variabili quantitative abbiamo deciso di utilizzare la matrice di correlazione. A tal fine, abbiamo utilizzando la funzione "cor" del pacchetto stats, che di default utilizza il coefficiente di correlazione di Pearson. Per una maggiore interpetazione del valore dei coefficienti, si è deciso di riportare il correlation plot generato tramite il seguente codice.

```
library(dplyr)
library(tidyr)
library(corrplot)
```

```
## corrplot 0.95 loaded
```

```
library(ggcorrplot)
##seleziono le variabili per l'analisi
df_corr= terremoti%>%
        dplyr::select(depth, mag, nst, gap, dmin, rms, horizontalError, depthError,
                      magError, magNst)
df_na=df_corr %>%
        summarise(across(c(depth, mag, nst, gap, dmin, rms, horizontalError,
                           depthError, magError, magNst),
                         ~sum(is.na(.))))

#### seleziono le variabili da pulire da NA
df_corr_clean <- df_corr %>%
  drop_na(depth, mag, nst, gap, dmin, rms, horizontalError,
            depthError, magError, magNst)
```

```r
#calcolo la matrice di correlazione
df_f=cor(df_corr_clean)


library(corrplot)

corrplot(df_f,
         method = "color",
         type = "full",
         tl.cex = 0.8,
         tl.srt = 45,
         addCoef.col = "black",
         number.cex = 0.7)
```



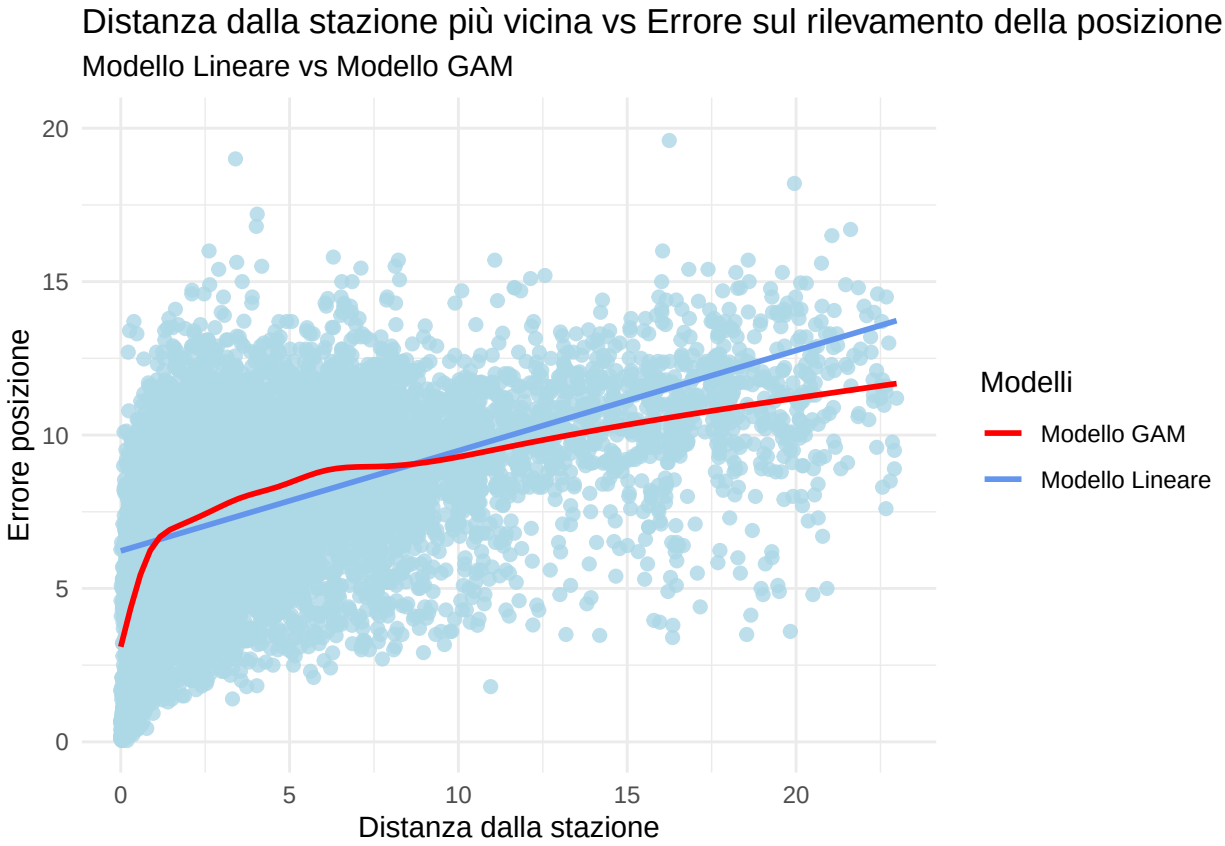
Dal correlation plot si evince che le correlazioni fra le variabili di maggiore interesse sono le seguenti:

- **Mag e nst**: Queste due variabili appartengono rispettivamente al livello di magnitudo e al numero di stazioni sismiche che hanno registrato il terremoto. Sono correlate positivamente in quanto un evento con alta magnitudo sarà rilevato da piu stazioni sismiche presenti nel mondo.
- **nst e gap**: Con un maggior numero di stazioni (nst elevato), la copertura attorno all'epicentro è più uniforme, riducendo il gap. Al contrario, con meno stazioni la copertura è più concentrata, generando un gap più ampio.
- **Mag Error e magNst**: Queste due variabili appartengono rispettivamente al livello di magnitudo e al numero di stazioni sismiche che hanno partecipato alla determinazione della magnitudo. Per questo motivo osserviamo un coefficiente di correlazione negativo.

- **Horizontal Error e dmin**:L'errore orizzontale potrebbe essere correlato alla distanza minima (dmin) perché terremoti più lontani dalla rete di rilevamento (maggiore dmin) tendono ad avere una localizzazione meno precisa, aumentando l'errore orizzontale. Questo è dovuto alla geometria della rete sismica e alla riduzione della precisione con la distanza.
- **Horizontal Error e depth error**: L'errore orizzontale e l'errore di profondità sono spesso correlati perché entrambi dipendono dalla qualità e dalla distribuzione dei dati sismici. Una scarsa copertura strumentale o una geometria sfavorevole possono influenzare simultaneamente la precisione della localizzazione sia in orizzontale che in profondità.

Dalla matrice di correlazione si evince un legame positivo fra la variabile dmin e HorizontalError pari a 0.30. A tal proposito abbiamo deciso di approfondire questo legame mediante la rappresentazione dello scatterplot. Abbiamo deciso di confrontare un modello lineare con un modello gam, che è il modello che si adatta meglio ai dati. Questo perchè evidentemente la relazione fra la distanza dalla stazione vicina rispetto all'errore non è lineare.

```
library(ggplot2)
library(gridExtra)

ggplot(terremoti, aes(x = dmin, y = horizontalError)) +
  geom_point(color = "lightblue", alpha = 0.8, size = 2) +
  geom_smooth(method = "lm", se = FALSE, aes(color = "Modello Lineare")) +
  geom_smooth(se = FALSE, aes(color = "Modello GAM")) +
  scale_color_manual(
    name = "Modelli",
    values = c("Modello Lineare" = "cornflowerblue", "Modello GAM" = "red")
  ) +
  scale_y_continuous(limits = c(0, 20)) +
  scale_x_continuous(breaks = seq(0, 23, 5), limits = c(0, 23)) +
  theme_minimal() +
  labs(
    title = "Distanza dalla stazione più vicina vs Errore sul rilevamento della posizione",
    subtitle = "Modello Lineare vs Modello GAM",
    x = "Distanza dalla stazione",
    y = "Errore posizione"
  ) +
  theme(legend.position = "right")
```


Distanza dalla stazione più vicina vs Errore sul rilevamento della posizione
Modello Lineare vs Modello GAM
Errore posizione
Distanza dalla stazione
0
5
10
15
20
Modelli
Modello GAM
Modello Lineare