

Analisi della serie finanziaria

Francesca Bellissimo

2024-07-05

La presente relazione analizza i rendimenti di Ryanair Holdings, una delle principali compagnie aeree low-cost a livello mondiale.

Ho preso in considerazione i prezzi di chiusura delle azioni di Ryanair Holdings quotate alla Borsa di Francoforte, nel periodo compreso tra il 4 gennaio 2010 e il 31 maggio 2024.

Il grafico seguente mostra l'andamento dei prezzi di chiusura di Ryanair, evidenziando le variazioni del valore delle azioni nel periodo considerato. L'andamento dei prezzi risulta complessivamente crescente, riflettendo una crescita nel valore del titolo. Al 31 maggio 2024, il prezzo di chiusura è di 18,085 euro.

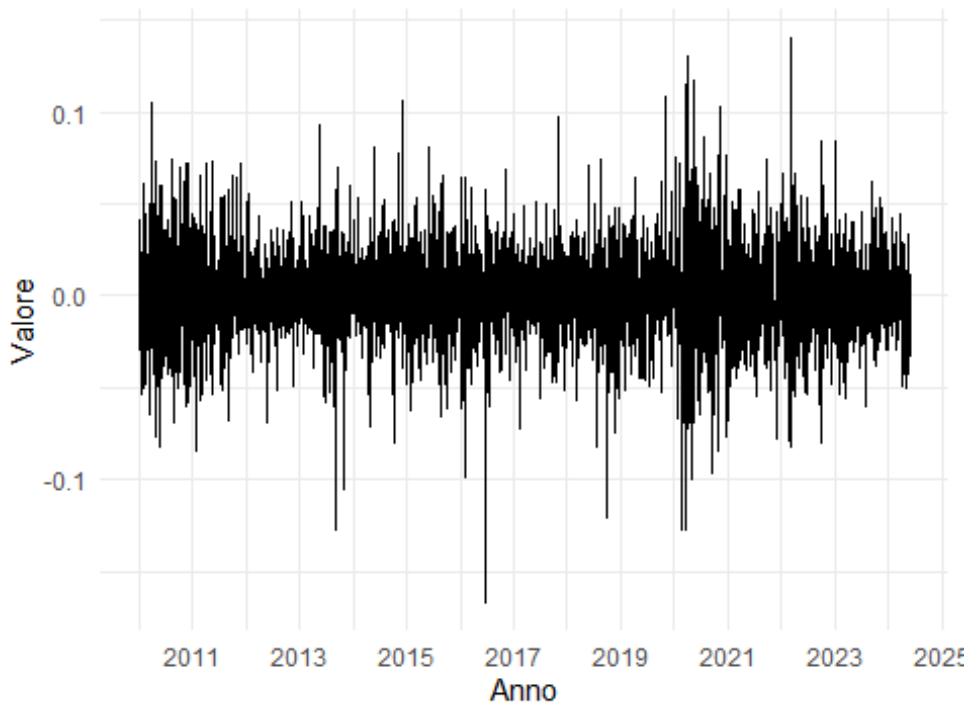


Dal grafico dei log-rendimenti (ai quali, per semplicità, mi riferirò con il termine di “rendimenti” da ora in poi) emerge chiaramente che la media è pressoché nulla. Questo è confermato anche dalle statistiche descrittive di base, riportate di seguito al grafico; in particolare, va evidenziato che l’intervallo di confidenza per la media contiene lo zero. Tale risultato è in linea con le aspettative teoriche riguardo ai rendimenti.

Il coefficiente di asimmetria, prossimo allo zero, suggerisce che la distribuzione dei rendimenti è simmetrica. Pertanto, i rendimenti sono distribuiti in maniera simile attorno alla media, senza una tendenza marcata verso valori positivi o negativi estremi.

Il coefficiente di curtosi (che, in questo contesto, rappresenta effettivamente l'eccesso di curtosi) suggerisce che la distribuzione dei rendimenti è leptocurtica. Questo significa che le code sono più pesanti rispetto a quelle di una distribuzione normale e, di conseguenza, gli eventi estremi (sia bassi che alti) sono più frequenti rispetto a quanto previsto per una distribuzione normale.

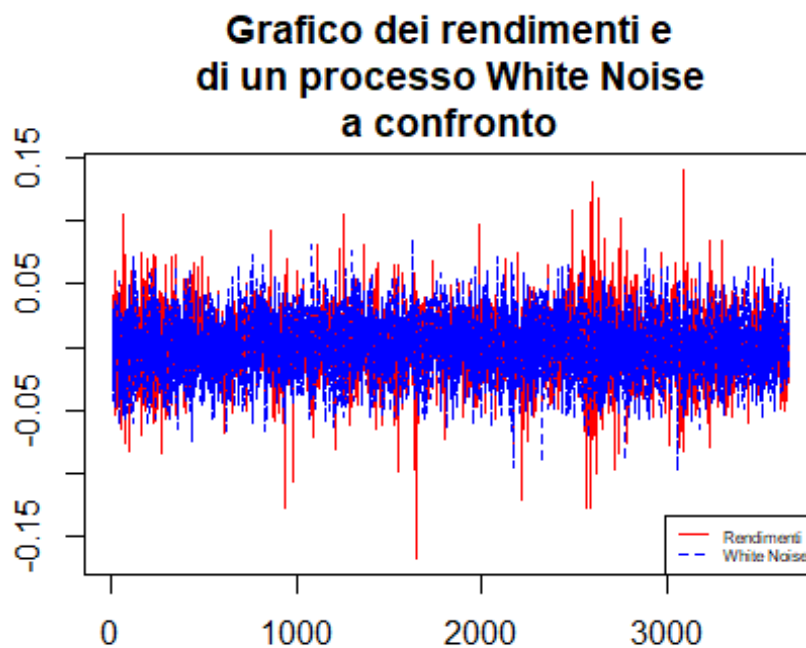
Rendimenti di Ryanair Holdings dal 2010 al 2024

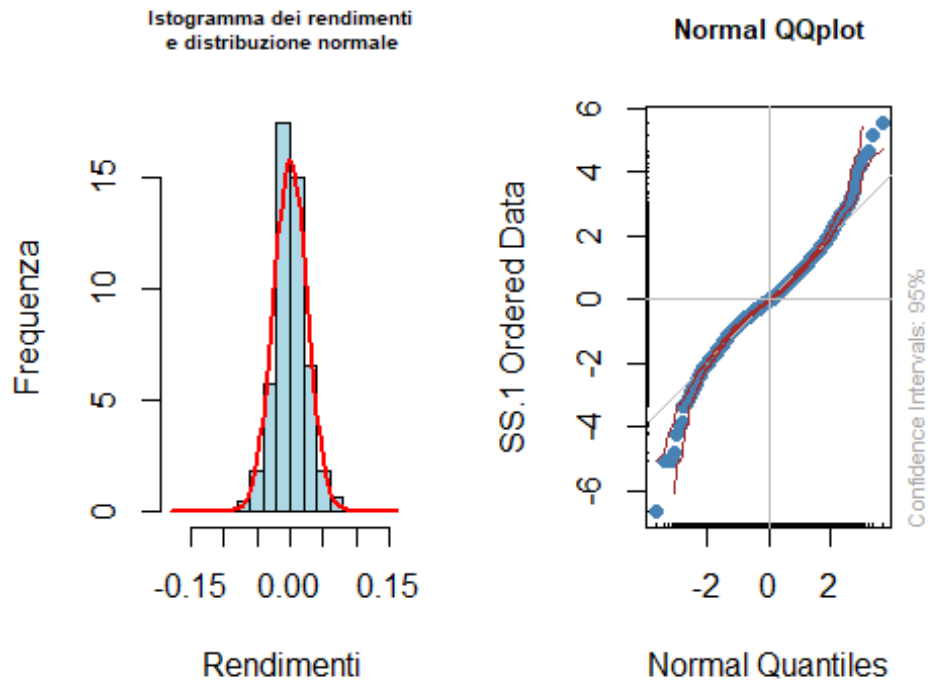


```
##                               r
## nobs          3660.000000
## NAs            0.000000
## Minimum       -0.167054
## Maximum        0.140463
## 1. Quartile   -0.013225
## 3. Quartile    0.014157
## Mean           0.000442
## Median         0.000000
## Sum            1.617002
## SE Mean        0.000416
## LCL Mean       -0.000374
## UCL Mean        0.001258
## Variance        0.000634
## Stdev           0.025186
## Skewness        0.002981
## Kurtosis        2.867353
```

L'ipotesi di normalità dei rendimenti non è supportata neppure dai tre grafici seguenti. Il primo riporta la sovrapposizione tra il grafico dei rendimenti e quello di un processo White Noise gaussiano, che ha media e deviazione standard pari a quelle dei rendimenti. Sebbene i due grafici appaiano tutto sommato simili, il processo White Noise non riesce a catturare i picchi più estremi della serie dei rendimenti.

Il secondo grafico mostra la sovrapposizione tra l'istogramma dei rendimenti e una distribuzione normale, che ha per media e deviazione standard quelle dei rendimenti. L'ultimo grafico è un QQ-plot dei rendimenti che mostra chiaramente come i punti si discostino significativamente dalla bisettrice, soprattutto nelle code. Questo indica una maggiore frequenza di eventi estremi rispetto a quanto previsto da una distribuzione normale.





L'ipotesi di normalità dei rendimenti è definitivamente smentita dai test di normalità di Kolmogorov-Smirnov e di Shapiro-Wilk.

```
##
## Title:
## Test di Kolmogorov-Smirnov
##
## Test Results:
## STATISTIC:
## D: 0.4649
## P VALUE:
## Alternative Two-Sided: < 2.2e-16
## Alternative Less: < 2.2e-16
## Alternative Greater: < 2.2e-16
##
## Description:
## Ipotesi nulla: la distribuzione dei rendimenti è normale

##
## Title:
## Tests di Shapiro-Wilk
##
## Test Results:
## STATISTIC:
## W: 0.9717
## P VALUE:
## < 2.2e-16
##
```

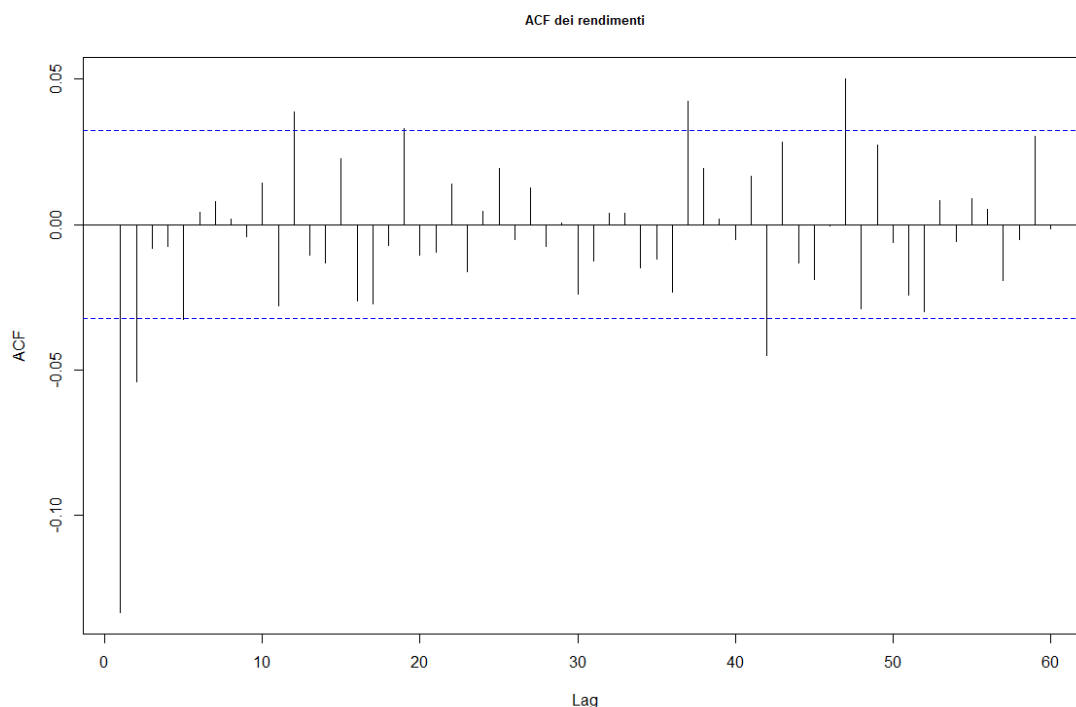
```
## Description:
```

```
## Ipotesi nulla: la distribuzione dei rendimenti è normale
```

Dal grafico dei rendimenti, è anche evidente la presenza dell'effetto di volatility clustering. Questo fenomeno, tipico delle serie temporali finanziarie, si manifesta quando i periodi di alta volatilità tendono a seguire altri periodi di alta volatilità, mentre i periodi di bassa volatilità sono seguiti da altri periodi di bassa volatilità. Ad esempio, tra l'inizio e la prima metà del 2020 il grafico evidenzia una serie di fluttuazioni significative, indicando un periodo di alta volatilità. Questo periodo è seguito da un altro intervallo di alta volatilità. Successivamente, intorno alla metà del 2021, si osserva un periodo prolungato di rendimenti stabili e bassi.

Successivamente, ho verificato che i rendimenti fossero incorrelati. Il correlogramma mostra che alcune correlazioni sono significativamente diverse da 0; si tratta, perlopiù, delle correlazioni calcolate per sfasamenti piccoli. Conseguentemente, i test di Ljung-Box e di Box-Pierce conducono a rifiutare l'ipotesi nulla di incorrelazione.

In ogni caso, il lag plot evidenzia una distribuzione completamente casuale dei punti. Per tale ragione, è possibile affermare che i rendimenti, come previsto, sono incorrelati.



```
##
```

```
## Box-Ljung test
```

```
##
```

```
## data: r
```

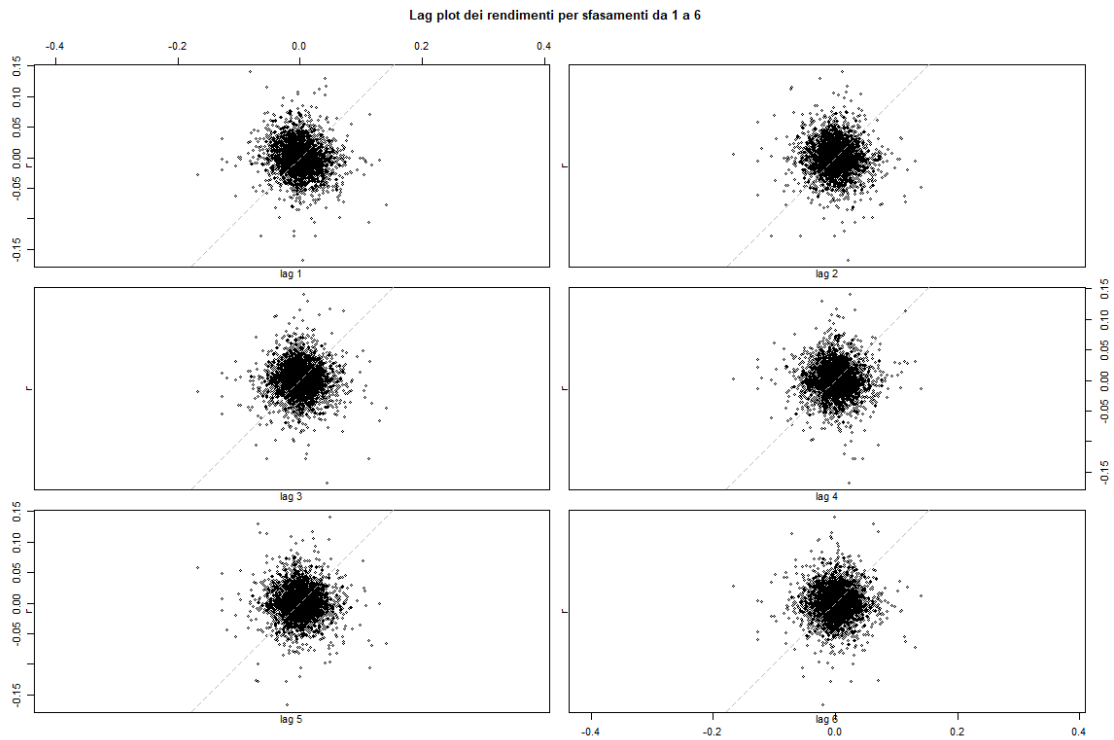
```
## X-squared = 80.141, df = 6, p-value = 3.331e-15
```

```
##
```

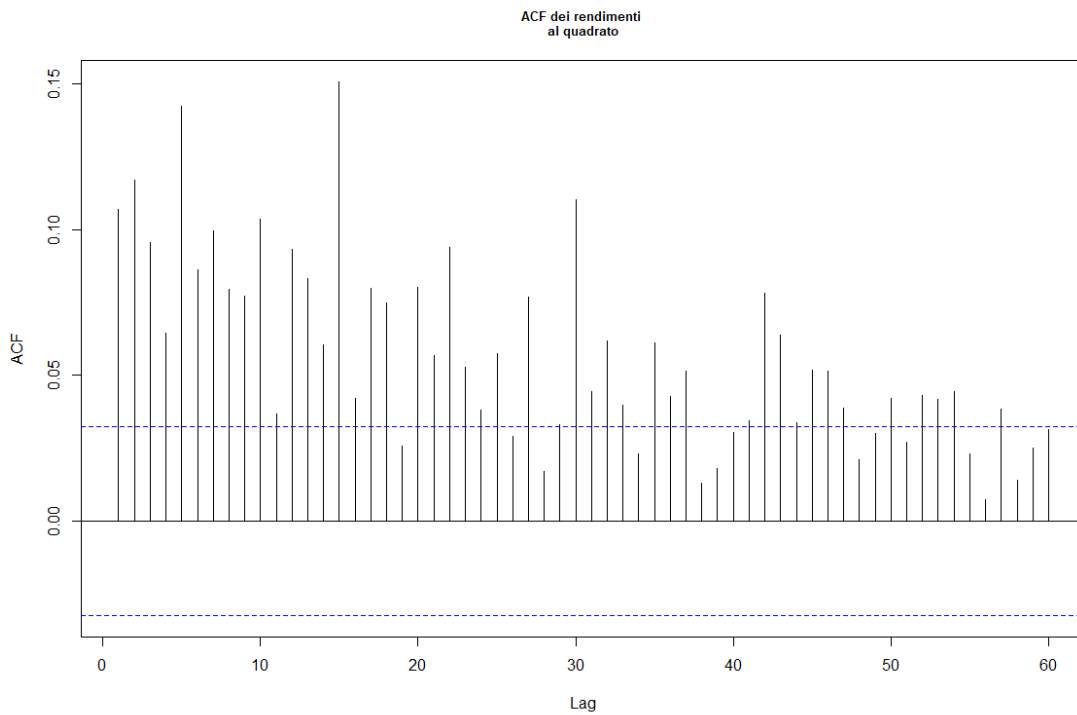
```
## Box-Pierce test
```

```
##
```

```
## data: r
## X-squared = 80.068, df = 6, p-value = 3.442e-15
```

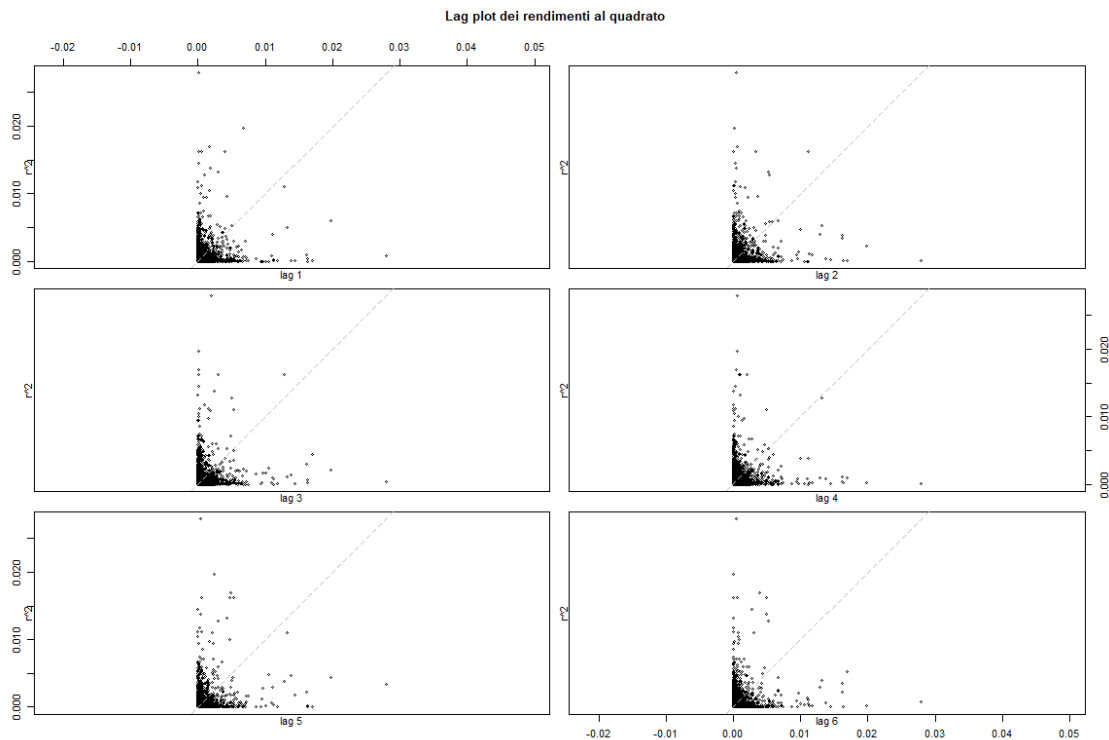


Le analisi sulla correlazione dei rendimenti al quadrato conduce a conclusioni opposte. La funzione di autocorrelazione globale dei rendimenti al quadrato assume quasi soltanto valori significativamente diversi da 0. Tale risultato è confermato dai test di Ljung-Box e Box-Pierce.



```
##
## Box-Ljung test
##
## data:  r^2
## X-squared = 242.05, df = 6, p-value < 2.2e-16

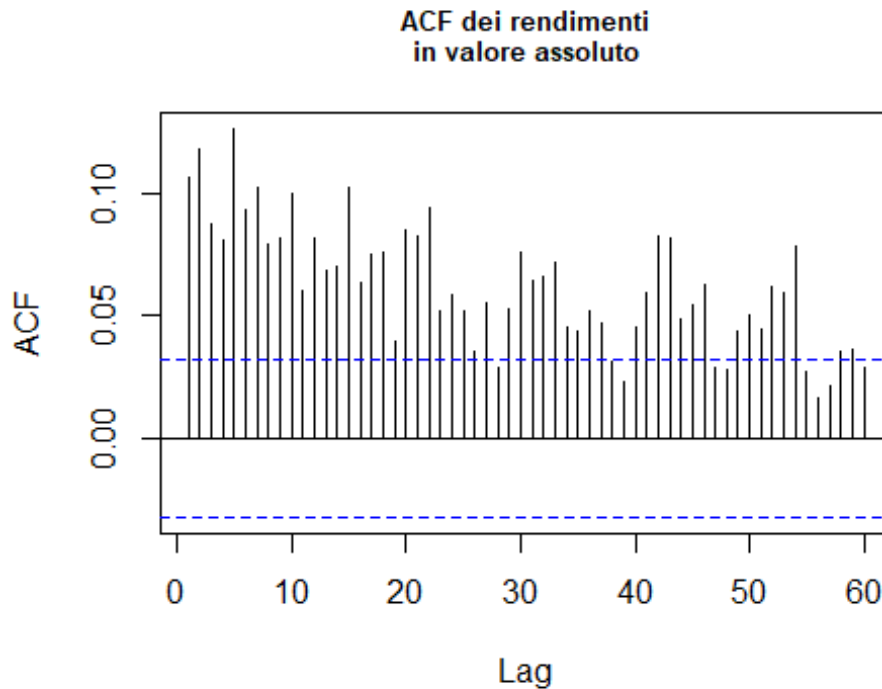
##
## Box-Pierce test
##
## data:  r^2
## X-squared = 241.69, df = 6, p-value < 2.2e-16
```



Inoltre, ho condotto il test LM ARCH (Lagrange Multiplier for Autoregressive Conditional Heteroskedasticity). I risultati confermano la persistenza della volatilità nella serie temporale analizzata.

```
##
## ARCH LM-test; Null hypothesis: no ARCH effects
##
## data:  r
## Chi-squared = 208.09, df = 12, p-value < 2.2e-16
```

Risultati analoghi sono validi per i rendimenti in valore assoluto.



```
##
## Box-Ljung test
##
## data:  abs(r)
## X-squared = 235.13, df = 6, p-value < 2.2e-16

##
## Box-Pierce test
##
## data:  abs(r)
## X-squared = 234.78, df = 6, p-value < 2.2e-16
```

La prossima fase dell'analisi prevede la stima dei parametri di cinque modelli differenti per valutare le loro prestazioni e caratteristiche. Ho preso in considerazione un GARCH(1,1), un GARCH(2,2), un tGARCH(1,1), un eGARCH(1,1), un eGARCH(2,2).

Preliminarmente, i risultati ottenuti indicano che tutti i modelli si comportano in modo abbastanza simile in termini di qualità dei residui. In particolare, i risultati del test di Ljung-Box sui residui mostrano che questi ultimi sono correlati. Tuttavia, il test di Ljung-Box sui residui al quadrato indica che i residui non mostrano autocorrelazione, suggerendo che il modello ha catturato adeguatamente le caratteristiche di volatilità condizionale dei dati. Inoltre, il test LM ARCH non rileva segni di persistenza, indicando che non vi sono evidenti problemi di clustering della volatilità nei modelli analizzati. Questi risultati forniscono una panoramica positiva riguardo alla capacità dei modelli di rappresentare la volatilità dei dati, sebbene sarà necessario un ulteriore approfondimento per determinare quale modello offre la miglior performance complessiva.


```

##
## *-----*
## *          GARCH Model Fit          *
## *-----*
##
## Conditional Variance Dynamics
## -----
## GARCH Model   : sGARCH(1,1)
## Mean Model    : ARFIMA(0,0,0)
## Distribution   : norm
##
## Optimal Parameters
## -----
##      Estimate  Std. Error  t value Pr(>|t|)
## mu      0.000755    0.000383   1.9699 0.048855
## omega    0.000009    0.000001  14.7338 0.000000
## alpha1   0.030414    0.000877  34.6921 0.000000
## beta1    0.955000    0.002169 440.3021 0.000000
##
## Robust Standard Errors:
##      Estimate  Std. Error  t value Pr(>|t|)
## mu      0.000755    0.000292   2.5824 0.009812
## omega    0.000009    0.000001  10.7062 0.000000
## alpha1   0.030414    0.000782  38.8846 0.000000
## beta1    0.955000    0.001461 653.7446 0.000000
##
## LogLikelihood : 8420.567
##
## Information Criteria
## -----
##
## Akaike          -4.5992
## Bayes           -4.5924
## Shibata         -4.5992
## Hannan-Quinn   -4.5968
##
## Weighted Ljung-Box Test on Standardized Residuals
## -----
##              statistic    p-value
## Lag[1]              63.39 1.665e-15
## Lag[2*(p+q)+(p+q)-1][2]  66.74 0.000e+00
## Lag[4*(p+q)+(p+q)-1][5]  69.77 0.000e+00
## d.o.f=0
## H0 : No serial correlation
##
## Weighted Ljung-Box Test on Standardized Squared Residuals
## -----
##              statistic    p-value
## Lag[1]              0.1321 0.7163
## Lag[2*(p+q)+(p+q)-1][5]  1.8591 0.6521
## Lag[4*(p+q)+(p+q)-1][9]  3.8979 0.6062

```

```

## d.o.f=2
##
## Weighted ARCH LM Tests
## -----
##           Statistic Shape Scale P-Value
## ARCH Lag[3]    0.06871 0.500 2.000 0.7932
## ARCH Lag[5]    2.98582 1.440 1.667 0.2918
## ARCH Lag[7]    4.11904 2.315 1.543 0.3297
##
##
## Sign Bias Test
## -----
##           t-value    prob sig
## Sign Bias          2.4012 0.01639 **
## Negative Sign Bias 0.4071 0.68394
## Positive Sign Bias 0.9000 0.36819
## Joint Effect       10.5622 0.01434 **
##
##
## *-----*
## *           GARCH Model Fit           *
## *-----*
##
## Conditional Variance Dynamics
## -----
## GARCH Model   : sGARCH(2,2)
## Mean Model    : ARFIMA(0,0,0)
## Distribution   : norm
##
## Optimal Parameters
## -----
##           Estimate Std. Error    t value Pr(>|t|)
## mu         0.000758   0.000383   1.979602 0.047748
## omega       0.000011   0.000001  20.347674 0.000000
## alpha1      0.036106   0.015498   2.329746 0.019820
## alpha2      0.000003   0.016024   0.000164 0.999869
## beta1       0.744730   0.005910 126.019640 0.000000
## beta2       0.202002   0.005657  35.707814 0.000000
##
## Robust Standard Errors:
##           Estimate Std. Error    t value Pr(>|t|)
## mu         0.000758   0.000294   2.579500 0.009894
## omega       0.000011   0.000001  11.553526 0.000000
## alpha1      0.036106   0.023706   1.523050 0.127746
## alpha2      0.000003   0.024182   0.000109 0.999913
## beta1       0.744730   0.001484 501.849233 0.000000
## beta2       0.202002   0.001755 115.124190 0.000000
##
## LogLikelihood : 8420.861

```

```

##
## Information Criteria
## -----
##
## Akaike      -4.5983
## Bayes      -4.5881
## Shibata    -4.5983
## Hannan-Quinn -4.5947
##
## Weighted Ljung-Box Test on Standardized Residuals
## -----
##
##              statistic    p-value
## Lag[1]          62.73 2.331e-15
## Lag[2*(p+q)+(p+q)-1][2]  66.11 0.000e+00
## Lag[4*(p+q)+(p+q)-1][5]  69.15 0.000e+00
## d.o.f=0
## H0 : No serial correlation
##
## Weighted Ljung-Box Test on Standardized Squared Residuals
## -----
##
##              statistic    p-value
## Lag[1]          0.02083  0.8852
## Lag[2*(p+q)+(p+q)-1][11]  4.63813  0.6359
## Lag[4*(p+q)+(p+q)-1][19]  8.10826  0.6635
## d.o.f=4
##
## Weighted ARCH LM Tests
## -----
##
##      Statistic Shape Scale P-Value
## ARCH Lag[5]      2.303 0.500 2.000 0.1291
## ARCH Lag[7]      3.591 1.473 1.746 0.2422
## ARCH Lag[9]      3.983 2.402 1.619 0.3999
##
## Sign Bias Test
## -----
##
##      t-value    prob sig
## Sign Bias      2.4220 0.01548 **
## Negative Sign Bias 0.2294 0.81856
## Positive Sign Bias 0.7671 0.44306
## Joint Effect    10.2842 0.01630 **
##
##
##
## *-----*
## *      GARCH Model Fit      *
## *-----*

```

```

##
## Conditional Variance Dynamics
## -----
## GARCH Model : sGARCH(1,1)
## Mean Model : ARFIMA(0,0,0)
## Distribution : norm
##
## Optimal Parameters
## -----
##      Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
## mu      0.000755    0.000383   1.9699 0.048855
## omega    0.000009    0.000001  14.7338 0.000000
## alpha1   0.030414    0.000877  34.6921 0.000000
## beta1    0.955000    0.002169 440.3021 0.000000
##
## Robust Standard Errors:
##      Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
## mu      0.000755    0.000292   2.5824 0.009812
## omega    0.000009    0.000001  10.7062 0.000000
## alpha1   0.030414    0.000782  38.8846 0.000000
## beta1    0.955000    0.001461 653.7446 0.000000
##
## LogLikelihood : 8420.567
##
## Information Criteria
## -----
##
## Akaike      -4.5992
## Bayes       -4.5924
## Shibata     -4.5992
## Hannan-Quinn -4.5968
##
## Weighted Ljung-Box Test on Standardized Residuals
## -----
##      statistic p-value
## Lag[1]          63.39 1.665e-15
## Lag[2*(p+q)+(p+q)-1][2] 66.74 0.000e+00
## Lag[4*(p+q)+(p+q)-1][5] 69.77 0.000e+00
## d.o.f=0
## H0 : No serial correlation
##
## Weighted Ljung-Box Test on Standardized Squared Residuals
## -----
##      statistic p-value
## Lag[1]          0.1321 0.7163
## Lag[2*(p+q)+(p+q)-1][5] 1.8591 0.6521
## Lag[4*(p+q)+(p+q)-1][9] 3.8979 0.6062
## d.o.f=2
##
## Weighted ARCH LM Tests
## -----

```

```

##          Statistic Shape Scale P-Value
## ARCH Lag[3]    0.06871 0.500 2.000  0.7932
## ARCH Lag[5]    2.98582 1.440 1.667  0.2918
## ARCH Lag[7]    4.11904 2.315 1.543  0.3297
##

## *-----*
## *          GARCH Model Fit          *
## *-----*
##
## Conditional Variance Dynamics
## -----
## GARCH Model   : eGARCH(1,1)
## Mean Model    : ARFIMA(0,0,0)
## Distribution   : norm
##
## Optimal Parameters
## -----
##          Estimate Std. Error   t value Pr(>|t|)
## mu          0.000276   0.000368    0.74875  0.45401
## omega       -0.174833   0.001192  -146.63993  0.00000
## alpha1      -0.073640   0.008772   -8.39506  0.00000
## beta1        0.976036   0.000218  4486.43457  0.00000
## gamma1       0.076655   0.003482   22.01221  0.00000
##
## Robust Standard Errors:
##          Estimate Std. Error   t value Pr(>|t|)
## mu          0.000276   0.000306    0.90149  0.36733
## omega       -0.174833   0.002876  -60.78158  0.00000
## alpha1      -0.073640   0.012543   -5.87091  0.00000
## beta1        0.976036   0.000234  4163.25313  0.00000
## gamma1       0.076655   0.005816   13.17912  0.00000
##
## LogLikelihood : 8454.317
##
## Information Criteria
## -----
##
## Akaike          -4.6171
## Bayes           -4.6086
## Shibata         -4.6171
## Hannan-Quinn   -4.6141
##
## Weighted Ljung-Box Test on Standardized Residuals
## -----
##                                statistic    p-value

```

```

## Lag[1] 64.08 1.221e-15
## Lag[2*(p+q)+(p+q)-1][2] 67.04 0.000e+00
## Lag[4*(p+q)+(p+q)-1][5] 69.86 0.000e+00
## d.o.f=0
## H0 : No serial correlation
##
## Weighted Ljung-Box Test on Standardized Squared Residuals
## -----
## statistic p-value
## Lag[1] 0.2343 0.6284
## Lag[2*(p+q)+(p+q)-1][5] 2.1264 0.5889
## Lag[4*(p+q)+(p+q)-1][9] 3.7898 0.6246
## d.o.f=2
##
## Weighted ARCH LM Tests
## -----
## Statistic Shape Scale P-Value
## ARCH Lag[3] 0.1046 0.500 2.000 0.7463
## ARCH Lag[5] 3.3417 1.440 1.667 0.2439
## ARCH Lag[7] 3.9137 2.315 1.543 0.3592
##

## Sign Bias Test
## -----
## t-value prob sig
## Sign Bias 2.2430 0.02496 **
## Negative Sign Bias 1.1659 0.24371
## Positive Sign Bias 0.9835 0.32545
## Joint Effect 5.1041 0.16433
##
##

##
## *-----*
## * GARCH Model Fit *
## *-----*
##
## Conditional Variance Dynamics
## -----
## GARCH Model : eGARCH(2,2)
## Mean Model : ARFIMA(0,0,0)
## Distribution : norm
##
## Optimal Parameters
## -----
## Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
## mu 0.000254 0.000384 0.66227 0.507798

```

```

## omega -0.315388    0.046056 -6.84797 0.000000
## alpha1 -0.091876    0.013948 -6.58721 0.000000
## alpha2 -0.039971    0.014031 -2.84871 0.004390
## beta1  0.100792    0.002721 37.04505 0.000000
## beta2  0.855969    0.001862 459.62835 0.000000
## gamma1 0.085887    0.018153  4.73139 0.000002
## gamma2 0.056609    0.017246  3.28247 0.001029
##
## Robust Standard Errors:
##      Estimate Std. Error  t value Pr(>|t|)
## mu      0.000254    0.000321   0.79234 0.428164
## omega -0.315388    0.043661  -7.22351 0.000000
## alpha1 -0.091876    0.020682  -4.44219 0.000009
## alpha2 -0.039971    0.018459  -2.16545 0.030353
## beta1  0.100792    0.004355  23.14264 0.000000
## beta2  0.855969    0.002061 415.35126 0.000000
## gamma1 0.085887    0.028735   2.98899 0.002799
## gamma2 0.056609    0.026047   2.17335 0.029754
##
## LogLikelihood : 8456.873
##
## Information Criteria
## -----
##
## Akaike      -4.6169
## Bayes      -4.6033
## Shibata    -4.6169
## Hannan-Quinn -4.6120
##
## Weighted Ljung-Box Test on Standardized Residuals
## -----
##
##              statistic    p-value
## Lag[1]              63.66 1.443e-15
## Lag[2*(p+q)+(p+q)-1][2] 66.70 0.000e+00
## Lag[4*(p+q)+(p+q)-1][5] 69.63 0.000e+00
## d.o.f=0
## H0 : No serial correlation
##
## Weighted Ljung-Box Test on Standardized Squared Residuals
## -----
##
##              statistic p-value
## Lag[1]              0.2915 0.5892
## Lag[2*(p+q)+(p+q)-1][11] 4.7146 0.6242
## Lag[4*(p+q)+(p+q)-1][19] 8.0345 0.6718
## d.o.f=4
##
## Weighted ARCH LM Tests
## -----
##
##      Statistic Shape Scale P-Value
## ARCH Lag[5]    0.6783 0.500 2.000 0.4102

```

```
## ARCH Lag[7]    1.0938 1.473 1.746 0.7312
## ARCH Lag[9]    2.1421 2.402 1.619 0.7308
```

```
##
## Sign Bias Test
## -----
##          t-value    prob sig
## Sign Bias      2.259 0.02391 **
## Negative Sign Bias  1.521 0.12835
## Positive Sign Bias  1.265 0.20612
## Joint Effect      5.382 0.14584
##
```

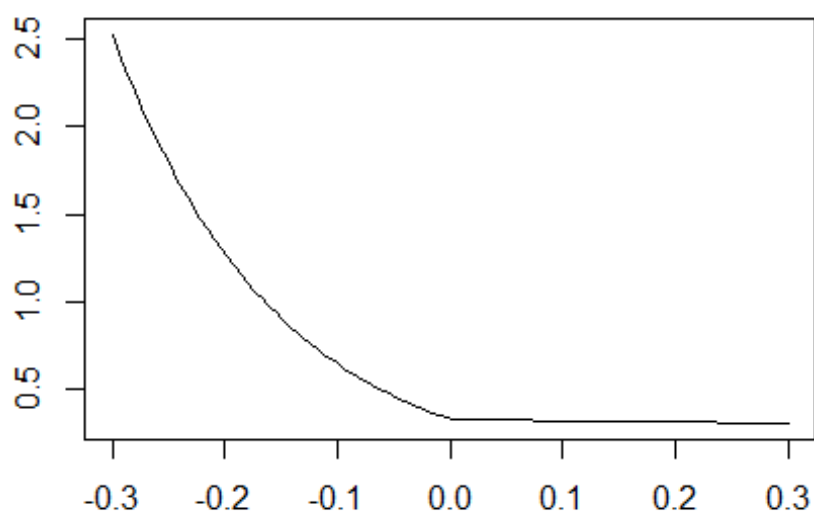
Ho optato per l'utilizzo del modello eGARCH(2,2) in quanto questo modello ha mostrato i valori più bassi sia per l'AIC che per il BIC rispetto alle altre specificazioni considerate.

```
##      GARCH      GARCH2      TGARCH      EGARCH      EGARCH2
## -4.599217 -4.598285 -4.617568 -4.617113 -4.617113

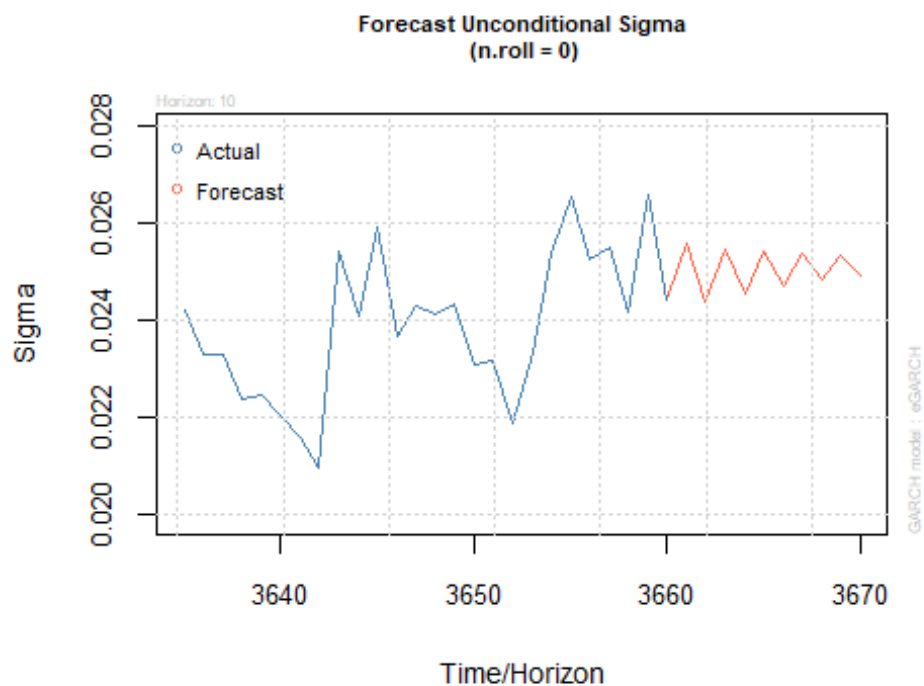
##      GARCH      GARCH2      TGARCH      EGARCH      EGARCH2
## -4.592435 -4.588112 -4.609090 -4.608636 -4.616871
```

La News Impact Curve ottenuta dal nostro modello eGARCH(2,2) presenta un comportamento asimmetrico: una rapida decrescita iniziale seguita da una stabilizzazione verso il basso. Questa asimmetria, in cui le cattive notizie amplificano maggiormente la volatilità rispetto alle buone notizie, è tipica dei mercati finanziari e riflette l'effetto leva. Questo comportamento non è un segno di inadeguatezza del modello; al contrario, indica che il modello eGARCH(2,2) è capace di catturare dinamiche realistiche della volatilità.

News Impact Curve per EGARCH(2,2)



Dunque, ho utilizzato tale modello per ottenere la previsione.



Per valutare la precisione delle previsioni del modello, ho adottato la tecnica dell'expanding window. Questa metodologia prevede l'uso di una finestra mobile che si espande

progressivamente per includere dati sempre più recenti nella fase di stima del modello. Questo processo consente di ottenere previsioni che si aggiornano continuamente in base all'insieme crescente di dati disponibili. La bontà del fitting è stata valutata tramite RMSE. I risultati sono riportati di seguito.

```
## [1] 0.02927082
```

Conclusioni

In questa analisi, ho esaminato i rendimenti delle azioni di Ryanair Holdings dal 2010 al 2024, con particolare attenzione alla modellazione e previsione della volatilità. Attraverso un'analisi descrittiva, ho rilevato che i rendimenti presentano un'elevata leptocurtosi e una distribuzione asimmetrica, confermando la non normalità dei dati.

Ho confrontato diversi modelli di volatilità condizionale. Nonostante le somiglianze nei comportamenti residui tra i modelli, l'eGARCH(2,2) è emerso come il migliore in base ai criteri di informazione AIC e BIC. Questo modello ha mostrato una maggiore capacità di catturare le caratteristiche della volatilità condizionale dei rendimenti di Ryanair.

Per valutare la precisione delle previsioni del modello eGARCH(2,2), ho applicato la tecnica dell'expanding window. Questa metodologia ha permesso di aggiornare continuamente le previsioni basandosi su un insieme crescente di dati. Il modello ha ottenuto un RMSE medio di 0.02, indicando una buona capacità di previsione della volatilità.

In sintesi, l'analisi condotta conferma che il modello eGARCH(2,2) è adeguato per modellare la volatilità dei rendimenti di Ryanair Holdings, fornendo previsioni affidabili. Questa conclusione è supportata dalla robustezza dei test statistici applicati e dalla validità delle previsioni ottenute. Future ricerche potrebbero estendere l'analisi a modelli più complessi per migliorare ulteriormente le previsioni.