

Sviluppo di reti probabilistiche di supporto alle decisioni
in viticoltura ed enologia

Analisi Univariata e Multivariata degli indici ricavati dai dati rilevati tramite Multiplex

Federico M. Stefanini e Rossella Berni

Dipartimento di Statistica 'G. Parenti', Università degli Studi di Firenze
Viale Morgagni 59, I-50134 Firenze
Tel: 055 4237211 Fax: 055 4223560
stefanini@ds.unifi.it berni@ds.unifi.it
<http://www.ds.unifi.it>

In collaborazione con: Francesca Bovis

Società Consortile Tuscania s.r.l.
Via Sangallo 43 - loc. Sambuca, I-50028, Tavarnelle Val di Pesa (FI)
Tel: 340 1215392 Fax: 055 8071971
francesca.bovis@consorziotuscania.it <http://www.consorziotuscania.it/>

24 novembre 2010

Indice

1	Disegno e Analisi degli Esperimenti	5
1.1	Introduzione al Disegno Sperimentale	5
1.2	Pianificazione e Disegno Sperimentale	5
2	Disegno completamente randomizzato	8
2.1	Modello Lineare Derivato	8
2.2	Analisi della Varianza	8
3	Disegno a blocchi randomizzati	11
3.1	Modello Lineare Derivato	11
3.2	Analisi della Varianza	12
4	Disegno fattoriale	13
5	Analisi della Varianza	
	VIGNETO di BROLIO	15
5.1	ANOVA per SFRR	18
5.2	ANOVA per ANTHRG	29
5.3	ANOVA per ANTHR	40
5.4	ANOVA per ANTHRB	51
5.5	ANOVA per ANTHB	63
5.6	ANOVA per ANTHRUV	74
5.7	ANOVA per ANTHUV	85
5.8	ANOVA per ANTHG	96
5.9	ANOVA per ANTHBG	107
6	Analisi della Varianza -	
	Dati Mediati	
	VIGNETO di BROLIO	118
6.1	ANOVA per SFRR - Modello completo	119
6.2	ANOVA per ANTHRG - Modello completo	125
6.3	ANOVA per ANTHR - Modello completo	131
6.4	ANOVA per ANTHRB - Modello completo	137
6.5	ANOVA per ANTHB - Modello completo	144
6.6	ANOVA per ANTHRUV - Modello completo	150
6.7	ANOVA per ANTHUV - Modello completo	155

6.8	ANOVA per ANTHG - Modello completo	160
6.9	ANOVA per ANTHBG - Modello completo	166
6.10	ANOVA per SFRR - Modello ridotto	172
6.11	ANOVA per ANTHRG - Modello ridotto	177
6.12	ANOVA per ANTHR - Modello ridotto	182
6.13	ANOVA per ANTHRB - Modello ridotto	187
6.14	ANOVA per ANTHB - Modello ridotto	192
6.15	ANOVA per ANTHRUV - Modello ridotto	197
6.16	ANOVA per ANTHUV - Modello ridotto	202
6.17	ANOVA per ANTHG - Modello ridotto	207
6.18	ANOVA per ANTHBG - Modello ridotto	212
7	Discussione sull'Analisi della Varianza	217
8	Analisi Multivariata della Varianza (MANOVA)	218
9	Analisi Multivariata VIGNETO di BROLIO	
	Dati non Mediati	220
9.1	Anova delle Variabili	220
9.2	Analisi con test di Pillai	225
9.3	Analisi con test di Wilks	226
9.4	Analisi con test di Hotelling-Lawley	227
9.5	Analisi con test di Roy	228
10	Analisi Multivariata VIGNETO di BROLIO	
	Dati Mediati	231
10.1	Anova delle Variabili	231
10.2	Analisi con test di Pillai	236
10.3	Analisi con test di Wilks	237
10.4	Analisi con test di Hotelling-Lawley	238
10.5	Analisi con test di Roy	239
11	Discussione sull'Analisi Multivariata della Varianza	242

12 Reti Probabilistiche	243
12.1 Assunzioni di indipendenza condizionata nelle reti Bayesiane .	243
12.2 Indipendenze nelle reti di Markov	244

1 Disegno e Analisi degli Esperimenti

1.1 Introduzione al Disegno Sperimentale

Per condurre un esperimento è necessario prendere molte decisioni, come ad esempio la scelta e il numero di livelli dei vari fattori, la scelta del piano sperimentale (che dev'essere determinato in parte dalle condizioni fisiche, in parte da considerazioni statistiche), la scelta della misura della “performance” e la scelta delle analisi statistiche più appropriate per trarre conclusioni sugli scopi preposti.

Le tante finalità di un disegno degli esperimenti, oltre a quella esplorativa, possono essere ricondotte ad un unico e principale fine: l'analisi delle fonti di variabilità di un processo e la valutazione della loro importanza rispetto alla variabilità accidentale, che deve essere minimizzata.

Pertanto, in un disegno sperimentale, la fase peculiare e fondamentale è quella della pianificazione, in cui si stabiliscono gli elementi fondamentali dello specifico piano prescelto.

1.2 Pianificazione e Disegno Sperimentale

Sebbene questo possa suonare ovvio ogni ricerca scientifica deve iniziare con lo sviluppo e l'enunciazione di un problema; troppo spesso infatti ricerche sperimentali sono iniziate senza una domanda formulata in maniera chiara, uno scopo o un traguardo in mente.

Il primo passo, l'enunciazione del problema, è equivalente alla formulazione di domande o ipotesi di ricerca e lavoro. Come detto sopra le ipotesi devono essere stabilite il più chiaramente possibile e questo porterà alla formulazione di ciò che viene chiamato *subject matter model* (argomento del modello). Con questo si intende semplicemente un elenco di tutti i fattori che maggiormente influenzano la variabile dipendente assunta come misura quantitativa del nostro fenomeno.

Questi fattori includeranno i fattori del trattamento, che sono il principale obiettivo della sperimentazione, così come i fattori di classificazione (o fattori blocco) che sono variabile condizionante per la riduzione della componente erratica. Si deve sottolineare che l'importanza di elencare tali fattori è cruciale per l'intera ricerca per le seguenti ragioni: essa determina, se non completamente almeno in larga parte, la scelta del disegno sperimentale, e definisce

la popolazione di riferimento nel rispetto delle conclusioni che si sono tratte. Basandosi su questi fattori e possibili altri, imposti da limitazioni fisiche o biologiche e/o considerazioni statistiche, viene scelto un disegno sperimentale adeguato insieme ad un appropriato modello statistico. Il disegno sperimentale consiste di tre fasi: (i) progettazione del disegno degli esperimenti, (ii) progettazione errore-controllo, e (iii) fase osservazionale.

La fase di *progettazione del disegno degli esperimenti* (treatment design) determina i trattamenti che devono essere inclusi nello studio.

I trattamenti devono essere determinati dai vari fattori trattamento e dalle combinazioni dei livelli di questi fattori. Gli aspetti del disegno del trattamento sono strettamente connessi con quelli del disegno errore-controllo.

Per fase di *progettazione errore-controllo* (error-control design) si intende l'effettiva sistemazione dei trattamenti nel piano sperimentale usando una regola di assegnazione di questi alle unità sperimentali. Esempi di questi disegni sono i disegni completamente randomizzati, disegni a blocchi randomizzati, disegni di quadrati latini, ecc... La scelta di un disegno errore-controllo dipende dalla disponibilità di unità sperimentali, la struttura di quest'ultime e la precisione di stima desiderata dal ricercatore.

La terza fase del disegno sperimentale è la *fase di campionamento e osservazionale* (sampling and observation design). Essa determina a quale livello le osservazioni devono essere prese e che tipo di osservazioni devono essere prese. Più precisamente ci dice se le unità osservazionali corrispondono alle unità sperimentali o se deve essere fatto un campionamento dalle unità sperimentali.

In un disegno sperimentale è importante dare un modello adeguato di risposta.

Per formalizzare quest'idea in termini generali si può scrivere:

$$Risposta = f(\text{variabili esplicative}) + \text{Errore}$$

dove f rappresenta una funzione sconosciuta e le variabili esplicative si riferiscono ai fattori trattamento e blocco impiegati rispettivamente nei disegni dei trattamenti e nei disegni errore-controllo.

Tra i fattori blocco ci sono i *fattori intrinseci* che sono identificati dall'argomento del modello come essenziali per definire la popolazione tipo oggetto di inferenze statistiche.

La variabile risposta quantitativa dovrebbe essere scelta in modo che l'inferenza e i risultati dell'esperimento possano essere chiaramente stabiliti e comunicati. Una volta raccolti i dati questi devono essere sottoposti ad analisi statistica, in accordo con il disegno sperimentale e il suo modello associato.

Lo scopo principale dell'analisi dei dati di un disegno sperimentale è quantificare e valutare l'importanza di possibili fonti di variabilità. Questo scopo può essere raggiunto tramite l'analisi della varianza (ANOVA) collegata al modello lineare sottostante sia nella sua forma univariata che multivariata.

In un esperimento, date le osservazioni y , l'idea generale di ANOVA è la partizione di "variabilità totale" (o somma totale dei quadrati),

$SS(Totale) = \sum (y_i - \bar{y})^2$, in due componenti, la prima di natura sistematica dovuta alla strategia sperimentale scelta, la seconda di natura accidentale.

A questo proposito è importante introdurre il concetto di *replicazione*, ovvero la possibilità di ripetere l'esperimento un numero finito di volte nelle medesime condizioni sperimentali; la corretta replicazione di ciascun trattamento permette di assumere che la variabilità accidentale sia distribuita in modo uguale tra i trattamenti. Ciò richiede che le repliche siano opportunamente stabilite nell'area sperimentale e che l'associazione tra unità sperimentali e trattamenti sia generata da una procedura di *randomizzazione*.

Ogni disegno sperimentale è rappresentato da una diversa serie di effetti (parametri) che forniscono una più esplicita espressione del modello e le varie interazioni tra le variabili esplicative, in aggiunta all'errore.

Supponiamo che ci siano q serie di effetti; usando il metodo dei minimi quadrati $SS(Totale)$ è diviso in

$$SS(Totale) = SS(1) + SS(2) + \dots + SS(q) + SS(residua)$$

dove $SS(i)$ rappresenta la somma dei quadrati associati alla i -esima serie di effetti ($i=1,2,\dots,q$), e $SS(residua)$ la quota di natura accidentale.

L'ANOVA fornisce le informazioni di base necessarie per fare inferenza statistica sia in termini di test d'ipotesi sia di stima di intervalli di confidenza. Associata alla somma dei quadrati $SS(i)$ ci sono i gradi di libertà v_i e i quadrati medi, $MS(i) = SS(i)/v_i$. Questa è la forma dei quadrati medi attesi $E[MS(i)]$ che determinano, per esempio, quali test di ipotesi sono eseguiti e quanta varianza di errore è stimata.

2 Disegno completamente randomizzato

Il più semplice disegno sperimentale a fini puramente esplorativi è il *Disegno Completamente Randomizzato* (CRD), in cui non si valutano le componenti di variabilità complesse, i.e. si effettua una libera associazione tra unità sperimentali e trattamento senza alcun vincolo. Se però non è possibile controllare né misurare questi fattori il disegno completamente randomizzato è l'unica scelta possibile; la scelta casuale delle unità sperimentali da non trattare e da trattare equivale a distribuire in eguale maniera questo "rumore di fondo" nei due gruppi. La possibilità di identificare l'eventuale effetto del trattamento sarà ridotto da questo fattore di disturbo, ma almeno saremo certi che tale fattore non è la causa della eventuale differenza tra i gruppi.

2.1 Modello Lineare Derivato

Supponiamo che il trattamento i sia applicato all'unità sperimentale k ; alla fine del periodo sperimentale l'osservazione sarà indicata come y_{ij} che indicherà l'osservazione sul j -esimo evento dell' i -esimo trattamento. Se il trattamento i è applicato alle k unità sperimentali la risposta vera è un numero T_{ik} e se potessimo imporre ogni trattamento a ciascuna unità sperimentale osserveremmo la totalità dei numeri $\{T_{ik}\}$.

Non potendo fare ciò applicheremo un solo trattamento per ogni unità sperimentale tramite il processo di randomizzazione.

Possiamo scrivere y_{ij} come modello lineare derivato associato al CRD:

$$Y_{ij} = \mu + \alpha_i + \epsilon_{ij}$$

con μ media di tutte le popolazioni rappresentate nell'esperimento,

$\alpha_i = \mu - \mu_i$ effetto dell' i -esimo trattamento, ϵ_{ij} residuo o errore sperimentale.

Se $n_1 = n_2 = \dots = n_p = n$ allora il disegno è bilanciato.

2.2 Analisi della Varianza

Per analizzare i risultati degli esperimenti useremo l'analisi della varianza a una via (One - Way ANOVA). L'ipotesi nulla è :

$$H_0 : \mu_1 = \mu_2 = \dots = \mu_p$$

oppure

$$H_0 : \alpha_i = 0 \quad \forall i$$

e l'alternativa è

$$H_1 : \text{almeno un } \alpha_i \text{ è diverso da zero}$$

L'analisi della varianza deve il suo nome al fatto che confronta due differenti stime di varianza. Se l'ipotesi nulla è vera, e non ci sono effetti di trattamento e tutti i campioni possono essere considerati provenire da un'unica popolazione, i dati differiscono tra loro per il solo effetto della variabile casuale. Se invece è vera l'ipotesi alternativa, entrambe le fonti di variabilità contribuiscono a determinare la variabilità complessiva.

La VARIABILITA' TOTALE è descritta dalla *devianza totale* (SST):

$$\sum_{i=1}^p \sum_{j=1}^{n_i} (y_{ij} - \bar{y})^2$$

La VARIABILITA' FRA I GRUPPI è descritta dalla *devianza tra i gruppi* (SSA):

$$\sum_{i=1}^p n_i (\bar{y}_i - \bar{y})^2$$

La VARIABILITA' ENTRO GRUPPI è descritta dalla *devianza entro gruppi* (SSE):

$$\sum_{i=1}^p \sum_{j=1}^{n_i} (y_{ij} - \bar{y}_i)^2$$

Se l'ipotesi nulla è vera, ci possiamo attendere uno scarso contributo della devianza tra gruppi alla devianza totale.

Se l'ipotesi nulla è falsa, ci possiamo attendere che entrambe le devianze contribuiscano a determinare la devianza totale. A questo livello non è però possibile fare confronti, perchè le devianze hanno un numero di addendi diverso.

Dobbiamo quindi rendere confrontabili le devianze e per fare ciò dividiamo ciascuna devianza per i rispettivi gradi di libertà ottenendo così le varianze. La devianza totale ha $n - 1$ gradi di libertà, la devianza tra gruppi ha $p - 1$ gradi di libertà e la devianza di errore ha $n - p$ gradi di libertà.

Otteniamo quindi:

$$MSA = \frac{SSA}{p - 1}$$

$$MSE = \frac{SSE}{n - p}$$

Se H_0 è vera (non ci sono differenze tra i gruppi) le tre quantità MSA, MSE e MST rappresentano stime della varianza σ^2 della popolazione sottostante. Quindi per verificare l'ipotesi di uguaglianza delle medie si utilizza una statistica F che confronta MSA e MSE.

$$F = \frac{MSA}{MSE} = \frac{\text{varianza} - \text{tra} - \text{gruppi}}{\text{varianza} - \text{entro} - \text{gruppi}}$$

La statistica F segue una distribuzione F con $(p - 1, n - p)$ gradi di libertà. La regola decisionale è : RIFIUTO H_0 se $F \geq F_\alpha$.

Il valore critico F_α viene determinato in funzione del livello di significatività α del test. Se H_0 è vera ci aspettiamo che il valore osservato di F sia vicino a 1; se H_0 è falsa ci aspettiamo che F assuma valori largamente superiori a 1 e che quindi la variabilità totale sia dovuta soprattutto all'effetto del trattamento.

Come tutti i test di ipotesi, l'ANOVA ad una via ha criteri severi che devono essere rispettati affinché il test sia considerato valido.

Queste assunzioni di validità del test F dipendono dagli errori ϵ_{ij} che :

1. *Devono essere tra loro indipendenti*

l'indipendenza degli errori comporta che la variazione casuale di ogni osservazione non sia influenzata da quella di un'altra.

2. *devono essere distribuiti normalmente.*

3. *omoschedasticità delle varianze dei vari gruppi*

i diversi gruppi dei quali si confrontano le rispettive medie devono avere tutti la stessa varianza per non determinare perdite nell'informazione sull'effetto dei trattamenti.

Si noti che:

1. $e_{ij} \sim \mu = 0$ e $Cov(\epsilon_j, \epsilon_i) = 0$ con $(i \neq j) \Rightarrow BLUE$
2. $e_{ij} \sim \text{i.i.d.} N(0, \sigma^2) \Rightarrow MVUE$

3 Disegno a blocchi randomizzati

Il disegno sperimentale CRD è lo schema più semplice di confronto simultaneo tra più medie. Nella pratica sperimentale spesso però rappresenta un'impostazione troppo elementare poichè assume in modo implicito che tutta la variabilità presente nei diversi gruppi a confronto sia determinata dai differenti livelli o dalle varie modalità del solo fattore in osservazione.

Talvolta risulta utile e necessario prendere in considerazione almeno due fattori di variabilità, sia per analizzare gli effetti di due o più cause contemporaneamente, sia per ridurre la varianza d'errore isolando gli effetti dovuti ad altre cause note.

Le diverse modalità del primo fattore sono chiamate trattamenti, quelle del secondo fattore sono chiamate *blocchi*; nell'analisi a blocchi randomizzati si richiede che le unità sperimentali siano dapprima suddivise in gruppi spesso riconducibili per cause tecniche o di struttura ad una precisa distribuzione a priori (per esempio i lotti di materie prime, gli appezzamenti di terreno, le caratteristiche strutturali del prodotto o della persona) detti blocchi, per il secondo fattore; successivamente gli individui di ogni blocco devono essere attribuiti in modo casuale entro i livelli del fattore blocco.

3.1 Modello Lineare Derivato

Con due criteri di classificazione ed una sola osservazione, ogni dato può essere rappresentato con

$$Y_{ij} = \mu + \alpha_i + b_j + \epsilon_{ij}$$

con μ media di tutte le popolazioni rappresentate nell'esperimento, $\alpha_i = \mu_i - \mu$ effetto dell' i -esimo trattamento, $b_j = \mu_j - \mu$ effetto del j -esimo blocco, ϵ_{ij} residuo o errore sperimentale che racchiude sia tutti gli altri fattori non considerati, sia l'interazione tra i due fattori che non può essere stimata. Si noti la completa additività tra fattore sperimentale e fattore blocco che deve poter essere ipotizzata a priori per garantire che vi sia la completa separabilità o identificazione degli effetti relativi ai due fattori.

3.2 Analisi della Varianza

L'analisi della varianza a due criteri di classificazione con una sola osservazione per casella permette di verificare, in modo simultaneo e indipendente, la significatività delle differenze tra le medie dei trattamenti (fattore A) e tra le medie dei blocchi (fattore B). Per esempio, indicando con a, b, c, d quattro trattamenti e con $1, 2, 3, 4, 5$ cinque blocchi, tale concetto viene espresso mediante:

1. una prima ipotesi nulla H_0 di uguaglianza delle medie dei trattamenti

$$H_0 : \alpha_i = 0 \quad \forall i; \quad b_j = 0 \quad \forall j$$

con ipotesi alternativa:

H_1 : non tutte le μ dei quattro trattamenti sono uguali tra loro

2. una seconda ipotesi nulla di uguaglianza delle medie dei blocchi

H_0 : almeno un $\alpha_i \neq 0$; almeno un $b_j \neq 0$

con ipotesi alternativa:

H_1 : non tutte le μ dei cinque blocchi sono tra loro uguali.

Per questi confronti tra medie viene richiesto il calcolo delle seguenti quantità:

1. la devianza totale con $pk - 1 = n - 1$ gradi di libertà;
2. la devianza tra trattamenti, con $p - 1$ gradi di libertà e la rispettiva varianza;
3. la devianza tra blocchi, $k - 1$ gradi di libertà e la rispettiva varianza;
4. la devianza di errore, con $(p - 1)(k - 1) = (n - 1) - [(p - 1) + (k - 1)]$ gradi di libertà e la sua varianza.

Le quattro devianze e i relativi gradi di libertà godono della proprietà additiva e possiamo scrivere quindi la devianza d'errore, che misura la variazione che rimane in ogni osservazione dopo aver tolto gli effetti dei fattori già considerati, come:

$$Devianza_{errore} = Devianza_{totale} - (Devianza_{tratramententi} + Devianza_{trablocchi})$$

$$\text{gdl } Devianza_{errore} = \text{gdl } Devianza_{totale} - (\text{gdl } Devianza_{tratramententi} + \text{gdl } Devianza_{trablocchi})$$

Il test F consiste nel controllare mediante il rapporto, sia la varianza tra trattamenti sia quella tra blocchi separatamente con la varianza di errore.

4 Disegno fattoriale

Quando tutti i fattori giocano un ruolo di primo piano, ovvero sono tutti fattori sperimentali, si ha il disegno fattoriale completo; ovviamente è possibile considerare anche un fattoriale a blocchi, ma non lo descriveremo qui. Nel caso di un disegno fattoriale la fonte di variabilità sistematica può essere scomposta in effetti principali e interazioni.

Dato un disegno fattoriale completo con due fattori A e B entrambi a due livelli, per effetto principale si intende la quota di variabilità sistematica imputabile al singolo fattore; si ha invece interazione AB tra i due fattori quando si ha variazione tra i livelli di A al variare dei livelli di B . Nel caso di assenza di interazione si ha un effetto additivo tra i due effetti principali di A e B ; cosa che non avviene allorché vi è interazione. In questo caso, infatti, la differenza tra le medie marginali, di riga o di colonna, non è uguale alla somma degli scostamenti tra le medie del fattore considerato entro i livelli, di riga o colonna, dell' altro. La differenza tra le due diverse situazioni sperimentali, presenza o assenza di interazione, può essere ben compresa anche osservando i due modelli. In assenza di interazione, si ha:

$$y_{ijr} = \mu + \alpha_i + \beta_j + e_{ijr} \quad j = 1, \dots, p; i = 1, \dots, q; r = 1, \dots, t$$

mentre, nel momento in cui si può ragionevolmente presupporre che vi sia interazione, il modello corrispondente risulta:

$$y_{ijr} = \mu + \alpha_i + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + e_{ijr} \quad j = 1, \dots, p; i = 1, \dots, q; r = 1, \dots, t$$

dove con $r = 1, \dots, t$ si indica la generica r -ma replicazione entro la casella (ij) , relativa alla generica combinazione sperimentale di A e B , considerando per semplicità un disegno bilanciato, con numero di replicazioni uguale per ogni casella. Pertanto si osservi come, nel caso di piano fattoriale completo, sia necessario disporre di t replicazioni per ogni casella, come si evidenzia nell' esempio seguente (tab.1) tratto da Montgomery (1991)¹, in cui $t = 4$. I dati riguardano 9 combinazioni sperimentali con $N = 36$ osservazioni relative alla misurazione in ore della durata di vita della batteria (Y). I due fattori sperimentali di interesse, A e B , entrambi a tre livelli, rappresentano rispettivamente il tipo di materiale per la batteria (1,2,3) e la temperatura, espressa in gradi centigradi: $15^\circ, 70^\circ, 125^\circ$. L' interazione si ottiene dopo aver

¹ Per brevità non presentiamo i risultati di analisi della varianza per questi dati

Tabella 1: Disegno fattoriale completo - I valori di casella sono le replicazioni per ciascuna combinazione sperimentale

Mat./Temp.	15	70	125
1	130;155;74;180	30;40;80;75	20;70;82;58
2	150;188;159;126	136;122;106;115	25;70;58;45
3	138;110;168;160	174;120;150;139	96;104;72;60

calcolato la variabilità dei due effetti principali, in quanto risulta dalla somma della devianza entro, calcolata per ciascuna casella, diminuita della devianza relativa all'effetto di A e B ; la devianza di errore si ha come residuo. Pertanto, l'interazione è una componente sistematica che riduce ulteriormente la variabilità accidentale. Sempre con riferimento ai dati di tab.1 è necessario fare due ultime osservazioni. L'unica interazione valutabile è in questo caso l'interazione del I ordine AB ; che coinvolge solo due fattori. Se il disegno considera più di due fattori, in generale $d + 1$, si ha la possibilità di stimare più effetti di interazione, dal I ordine (due fattori) fino al $d - mo$ ordine ($d + 1$ fattori). La seconda osservazione riguarda il numero complessivo di osservazioni sperimentali, che, proprio per la presenza di replicazioni, risulta ridondante rispetto ai gradi di libertà necessari per la stima dei due effetti principali ($p-1=2$; $p=q$) e dell'interazione $(p-1)(q-1) = (3-1)(3-1) = 4$, in totale 8 gradi di libertà. Conseguentemente, poiché quando si considera un notevole numero di fattori, aumenta sia il numero di effetti stimabili che il numero di osservazioni necessario per la loro stima e tra tali effetti vi sono interazioni di ordine superiore al primo, spesso nulle o trascurabili, possiamo validamente sostituire, tramite una opportuna pianificazione sperimentale, un disegno fattoriale frazionale al disegno fattoriale completo originario.

5 Analisi della Varianza

VIGNETO di BROLIO

Di seguito si riporta l'analisi della varianza (ANOVA) per ciascuna variabile in studio.

L'analisi non distruttiva dell'accumulo degli antociani tramite lo strumento MULTIPLEX è stata monitorata nei quattro vigneti sperimentali dal 4 Agosto 2009 al 18 Settembre 2009, attraverso cinque rilevazioni per ogni vigneto. I dati delle nove variabili, correlabili al contenuto di antociani, sono relativi al solo vigneto di Brolio.

Nella prima fase dello studio viene creato un modello "completo" (modello 0), che tiene conto di tutte le variabili esplicative e delle interazioni tra le stesse.

Le variabili considerate sono carica delle gemme, defogliazione, diradamento ed esposizione.

Le variabili risposta sono nove e corrispondono agli indici correlabili al contenuto di antociani, ottenuti come riassunto dalla tabella sottostante.

SFRR	FRF_R/RF_R
ANTHRG	$\log(\text{FRF_R}/\text{FRF_G})$
ANTHR	$\log(5000/\text{FRF_R})$
ANTHRB	$\log(\text{FRF_R}/\text{FRF_B})$
ANTHB	$\log(5000/\text{FRF_B})$
ANTHRUV	$\log(\text{FRF_R}/\text{FRF_UV})$
ANTHUV	$\log(5000/\text{FRF_UV})$
ANTHG	$\log(5000/\text{FRF_G})$
ANTHBG	$\log(\text{FRF_B}/\text{FRF_G})$

Tabella 2: Variabili risposta

dove le sigle BG, R e FR si riferiscono al canale di rilevamento dello strumento Multiplex e le sigle UV, B, G e R ai canali di eccitazione di tale strumento. Per ogni variabile risposta vengono riportate la tavola ANOVA, che evidenzia la significatività dei coefficienti e delle loro interazioni di primo e di secondo

ordine, una rappresentazione grafica dell'analisi dei residui, che può rivelarsi utile per la determinazione di inadeguatezza del modello e una rappresentazione grafica che meglio evidenzia la presenza o assenza di interazione tra i fattori considerati e il tempo.

In particolare, il quantile-quantile plot (Q-Q PLOT) è la rappresentazione grafica dei quantili di una distribuzione ed è un metodo grafico per confrontare due distribuzioni di probabilità: la distribuzione cumulata della variabile osservata e la distribuzione cumulata della normale.

Se la variabile osservata presenta una distribuzione normale, i punti di questa distribuzione congiunta si addensano sulla diagonale che va dal basso verso l'alto e da sinistra verso destra.

Andando ad analizzare l'andamento dei residui sia sui valori teorici stimati, sia nei singoli tempi, quello che ci si aspetta di ottenere, se il modello è adeguato, sarà un comportamento casuale e non sistematico dei residui stessi.

I grafici di tipo "conditioning" (CO PLOT) sono metodi di rappresentazione grafica che permettono di evidenziare come una variabile risposta dipenda da una variabile esplicativa, date altre variabili descrittive. In questo caso, per ogni variabile in studio, abbiamo diagrammi di dispersione dei residui della variabile per specificati livelli della variabile tempo.

I grafici di tipo "interaction" (INTERACTION PLOT) mostrano, per ogni variabile in studio, l'interazione tra due fattori presi in considerazione (in questo caso si è deciso di rappresentare l'interazione tra il fattore tempo e gli altri fattori in studio : carica delle gemme, defogliazione, diradamento ed esposizione). Sull'asse delle ascisse sono presenti, i livelli del fattore tempo, sull'asse delle ordinate la variabile risposta e le linee rappresentano i valori medi in corrispondenza dei livelli della variabile di volta in volta presa in esame.

Se le linee sono parallele, l'effetto del fattore in studio è indipendente dai valori assunti dal tempo, in altre parole non c'è interazione. C'è interazione tra i fattori se l'effetto di un fattore dipende dal tempo e quindi le linee non sono parallele ma si intersecano. L'output che il programma statistico R fornisce per l'ANOVA inizia con la descrizione sintetica del modello ivi verificato e vengono fornite inoltre statistiche descrittive riguardanti i residui.

Per ogni effetto, sia esso principale o di interazione, si indicano:

1. nel caso del modello lineare, la stima del parametro/i, lo standard error e il p-value;
2. nel caso dell'ANOVA (che segue il corrispondente modello lineare) si ha

la misura della fonte di variabilità afferente allo specifico effetto (SUM OF SQUARES), il valore stimato del test F e il corrispondente p-value;
3. il livello di significatività tramite i convenzionali asterischi.

5.1 ANOVA per SFRR

Call:

```
lm(formula = SFRR ~ Tempo + CaricaGem + Defogliaz + Diradam +  
    ESPOSIZ + CaricaGem:Defogliaz + CaricaGem:Diradam + Defogliaz:Diradam +  
    CaricaGem:ESPOSIZ + Defogliaz:ESPOSIZ + CaricaGem:Defogliaz:Diradam +  
    CaricaGem:Defogliaz:ESPOSIZ, data = BRDF2)
```

Residuals:

Min	1Q	Median	3Q	Max
-1686.5	-402.9	-47.3	304.8	4742.0

Coefficients:

	Estimate	Std. Error	t value
(Intercept)	4423.89	64.92	68.148
Tempo3	-461.86	54.31	-8.504
Tempo4	-638.97	54.37	-11.752
Tempo5	-1500.78	54.31	-27.633
CaricaGem2	501.17	79.14	6.333
Defogliaz2	-15.20	78.79	-0.193
Diradam2	418.11	76.98	5.432
ESPOSIZ2	125.91	130.27	0.967
CaricaGem2:Defogliaz2	-485.39	111.77	-4.343
CaricaGem2:Diradam2	-515.14	108.97	-4.727
Defogliaz2:Diradam2	-356.26	108.63	-3.280
CaricaGem2:ESPOSIZ2	-309.52	182.51	-1.696
Defogliaz2:ESPOSIZ2	-187.46	182.45	-1.027
CaricaGem2:Defogliaz2:Diradam2	464.46	153.86	3.019
CaricaGem2:Defogliaz2:ESPOSIZ2	492.45	256.83	1.917

	Pr(> t)
(Intercept)	< 2e-16 ***
Tempo3	< 2e-16 ***
Tempo4	< 2e-16 ***
Tempo5	< 2e-16 ***
CaricaGem2	3.73e-10 ***
Defogliaz2	0.84702
Diradam2	7.11e-08 ***

ESPOSIZ2	0.33399	
CaricaGem2:Defogliaz2	1.56e-05	***
CaricaGem2:Diradam2	2.62e-06	***
Defogliaz2:Diradam2	0.00108	**
CaricaGem2:ESPOSIZ2	0.09023	.
Defogliaz2:ESPOSIZ2	0.30446	
CaricaGem2:Defogliaz2:Diradam2	0.00261	**
CaricaGem2:Defogliaz2:ESPOSIZ2	0.05549	.

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 593.7 on 938 degrees of freedom

Multiple R-squared: 0.4946, Adjusted R-squared: 0.487

F-statistic: 65.56 on 14 and 938 DF, p-value: < 2.2e-16

Analysis of Variance Table

Response: SFRR

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value
Tempo	3	282181119	94060373	266.8559
CaricaGem	1	2968532	2968532	8.4219
Defogliaz	1	23243465	23243465	65.9433
Diradam	1	2325590	2325590	6.5979
ESPOSIZ	1	189	189	0.0005
CaricaGem:Defogliaz	1	2501503	2501503	7.0969
CaricaGem:Diradam	1	4720564	4720564	13.3926
Defogliaz:Diradam	1	921667	921667	2.6148
CaricaGem:ESPOSIZ	1	77457	77457	0.2197
Defogliaz:ESPOSIZ	1	82233	82233	0.2333
CaricaGem:Defogliaz:Diradam	1	3198795	3198795	9.0752
CaricaGem:Defogliaz:ESPOSIZ	1	1295838	1295838	3.6764
Residuals	938	330622799	352476	

Pr(>F)

Tempo	< 2.2e-16 ***
CaricaGem	0.0037940 **
Defogliaz	1.453e-15 ***
Diradam	0.0103638 *
ESPOSIZ	0.9815354
CaricaGem:Defogliaz	0.0078540 **
CaricaGem:Diradam	0.0002667 ***
Defogliaz:Diradam	0.1062049
CaricaGem:ESPOSIZ	0.6393396
Defogliaz:ESPOSIZ	0.6292005
CaricaGem:Defogliaz:Diradam	0.0026605 **
CaricaGem:Defogliaz:ESPOSIZ	0.0554919 .
Residuals	

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

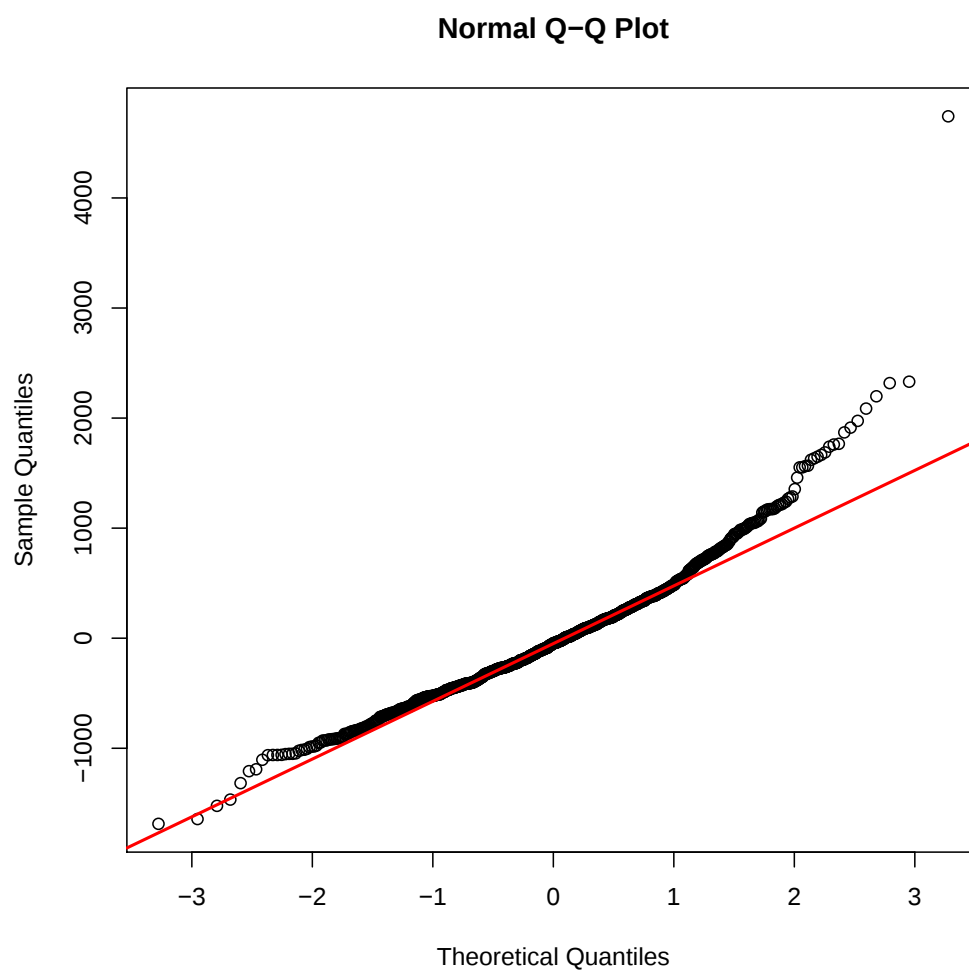


Figura 1: Analisi dei Residui: Q-Q Plot - Modello 0 - SFRR - Brolio

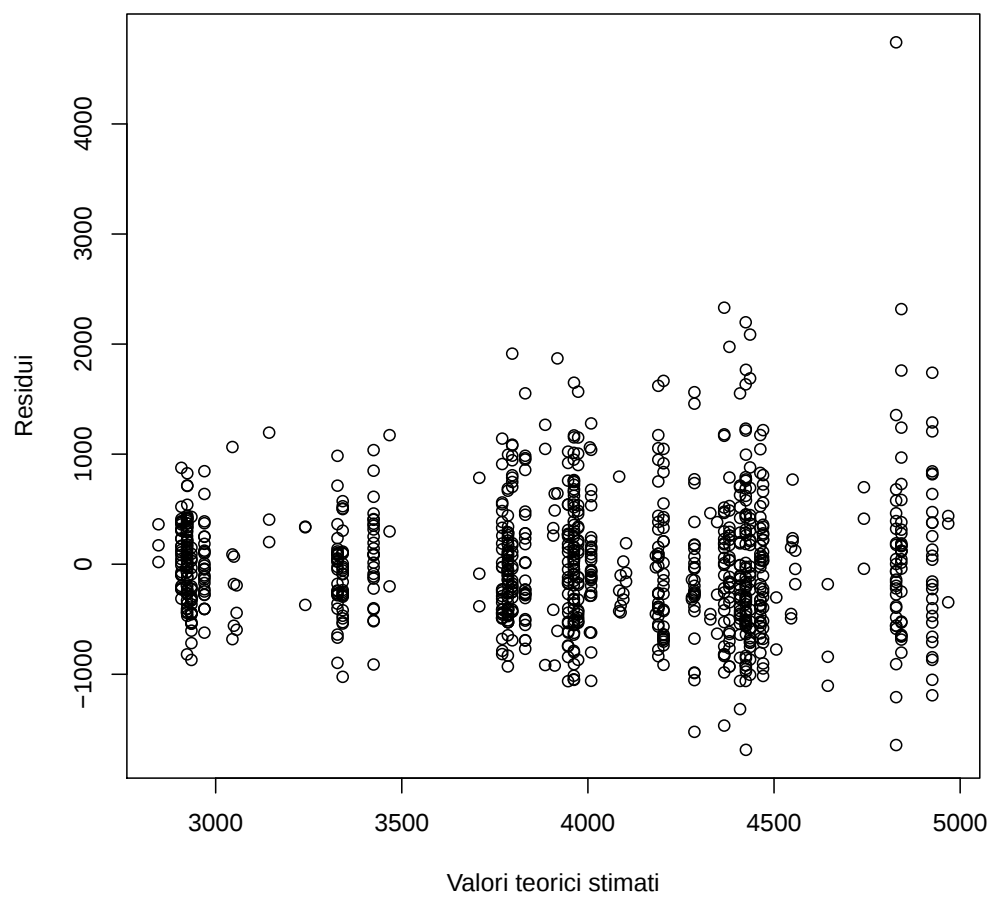


Figura 2: Analisi dei residui: Residui vs Valori teorici stimati - Modello 0 - SFRR - Brolio

Given : CaricaGem:Defogliaz:Diradam:ESPOSIZ

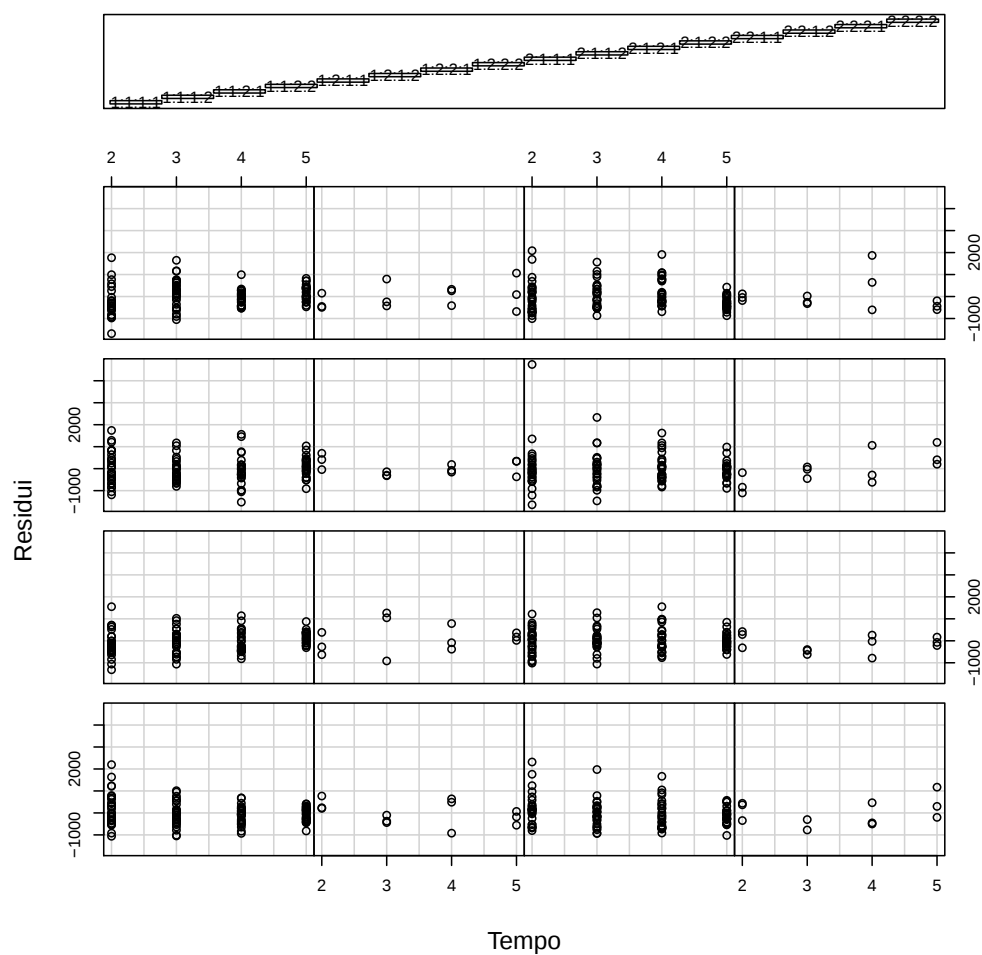


Figura 3: Conditioning Plot - Modello 0 - SFRR - Brolio

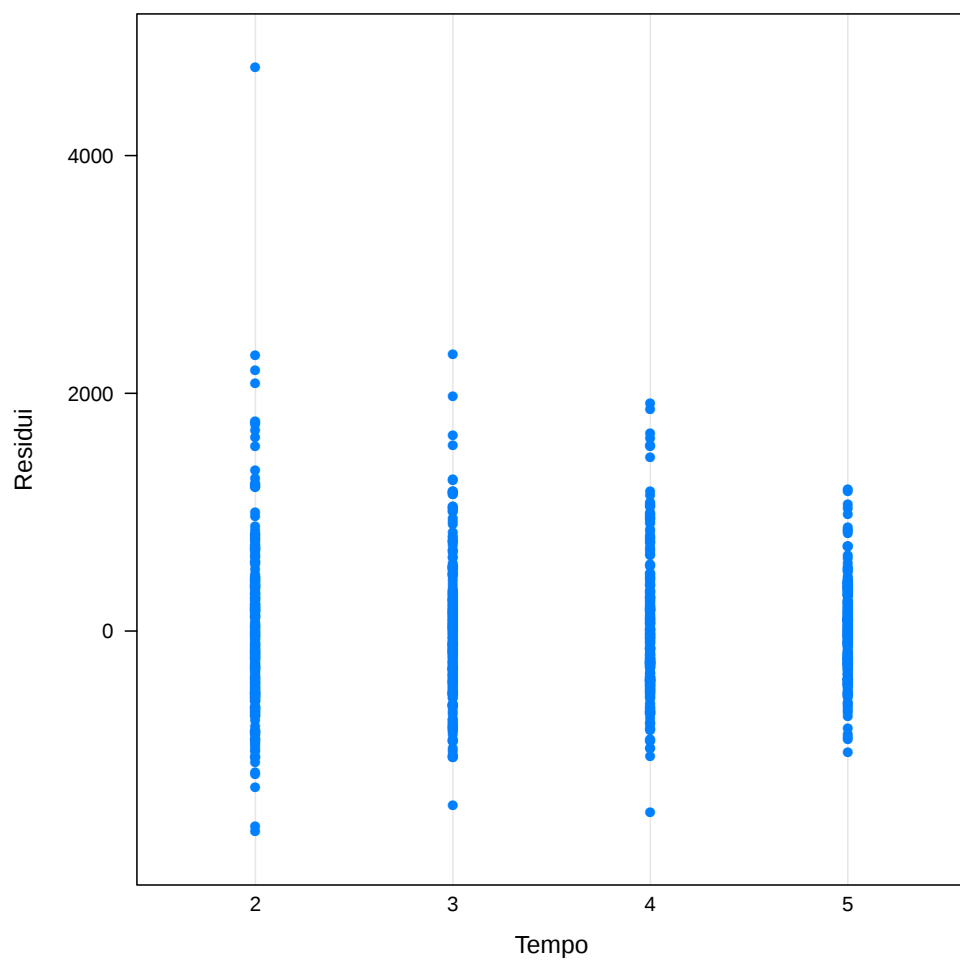


Figura 4: Analisi dei residui: Residui vs Tempo - Modello 0 - SFRR - Brolio

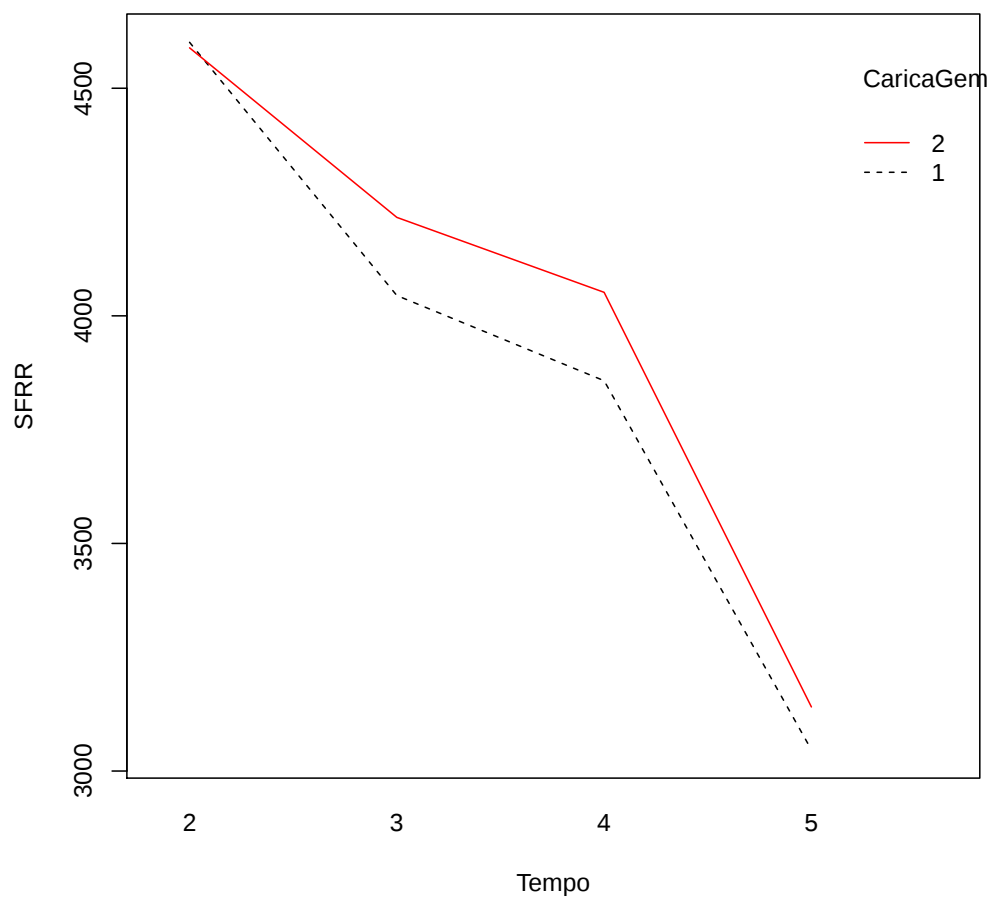


Figura 5: Interaction plot Tempo-Caricagemme - SFRR - Brolio

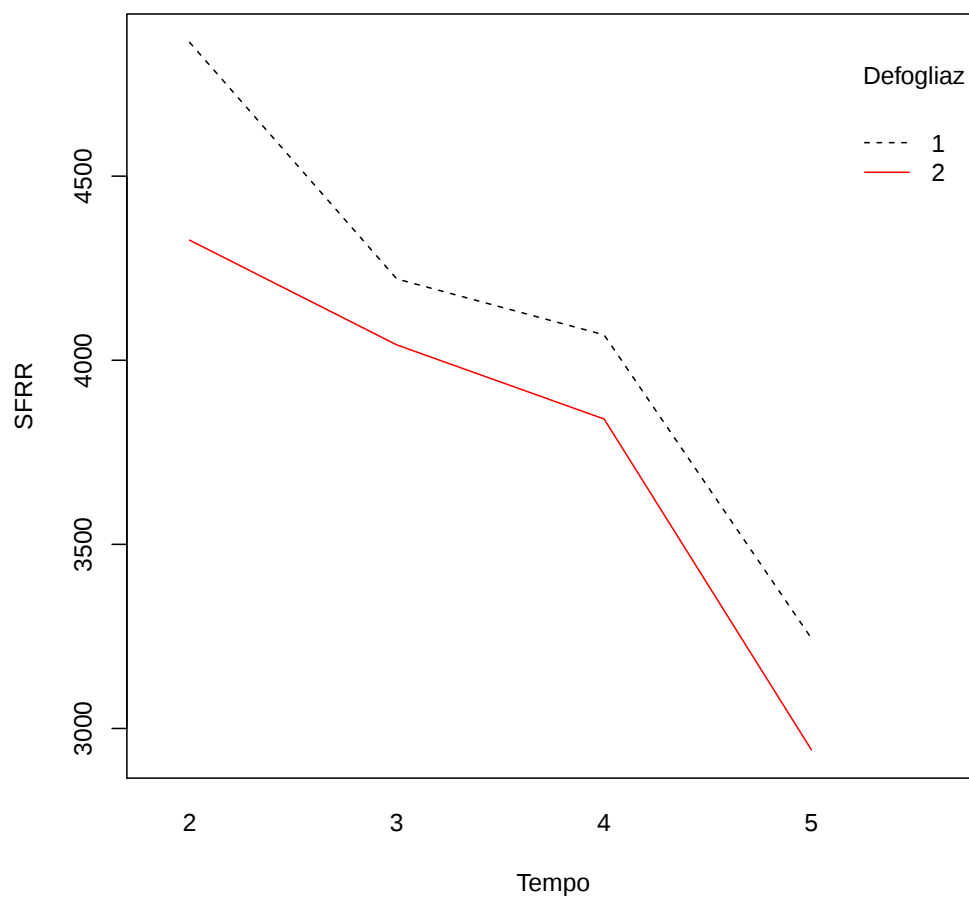


Figura 6: Interaction plot Tempo-Defogliazione - SFRR - Brolio

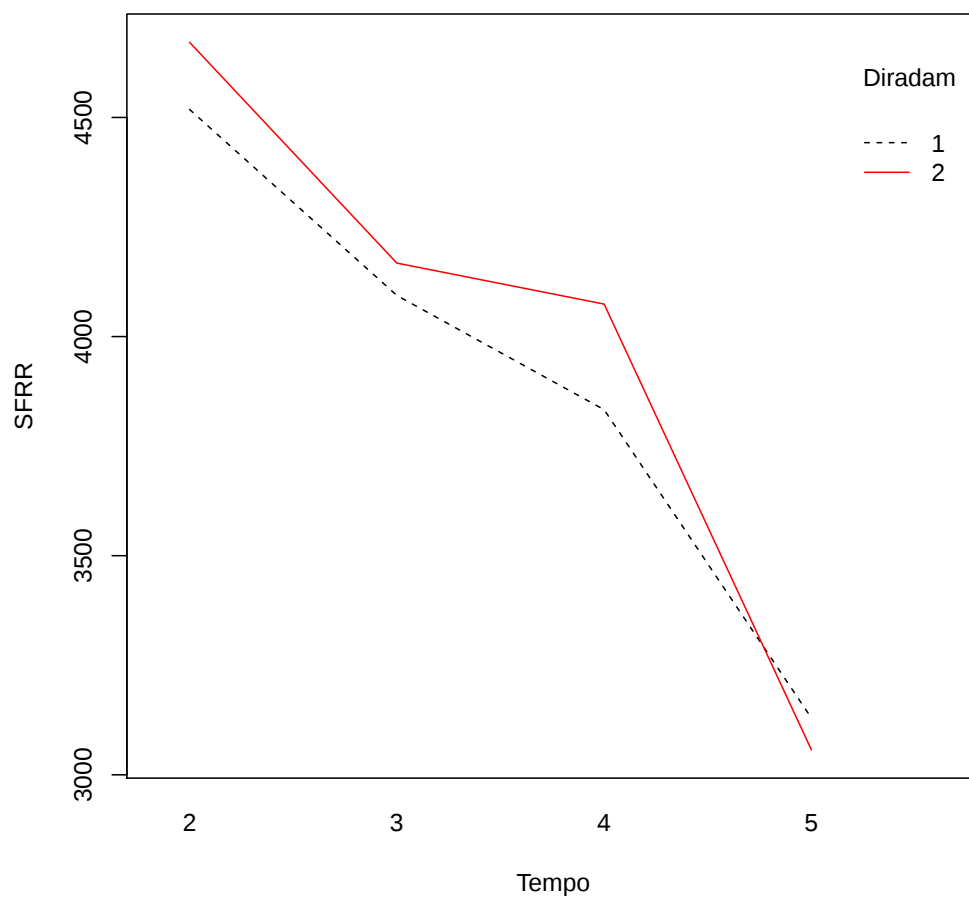


Figura 7: Interaction plot Tempo-Diradamento - SFRR - Brolio

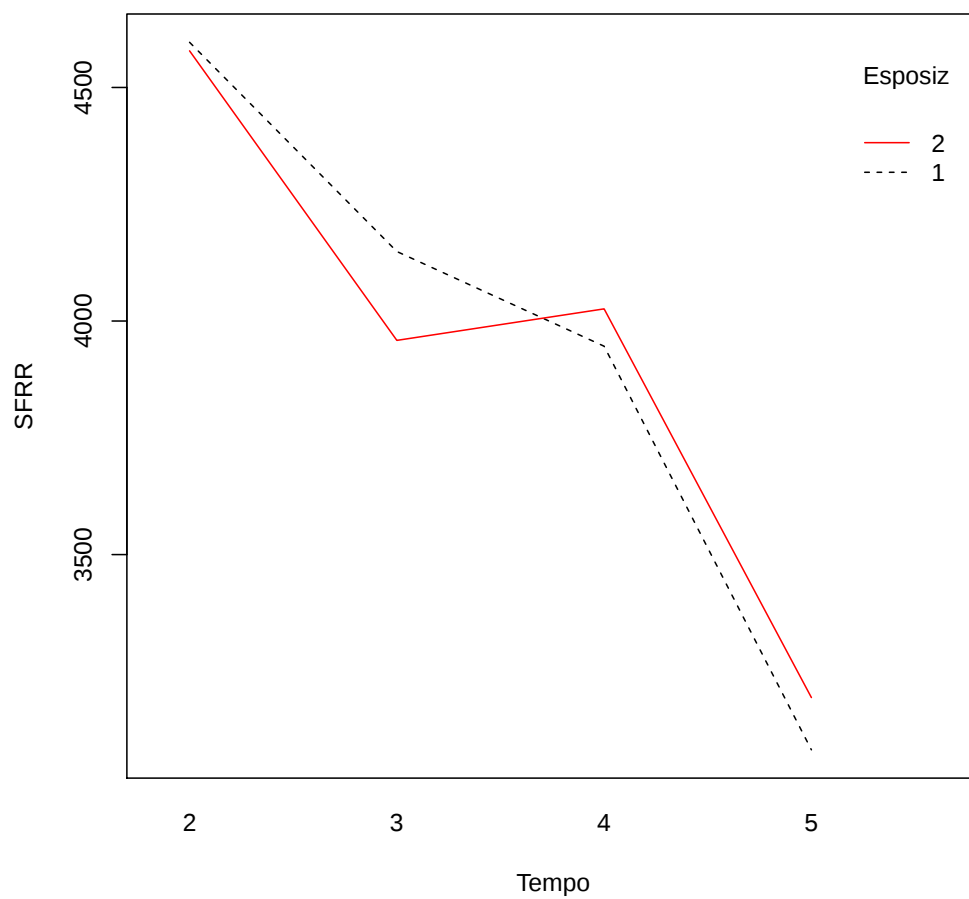


Figura 8: Interaction plot Tempo-Esposizione - SFRR - Brolio

5.2 ANOVA per ANTHRG

Call:

```
lm(formula = ANTHRG ~ Tempo + CaricaGem + Defogliaz + Diradam +  
    ESPOSIZ + CaricaGem:Defogliaz + CaricaGem:Diradam + CaricaGem:ESPOSIZ +  
    Defogliaz:ESPOSIZ + CaricaGem:Defogliaz:ESPOSIZ, data = BRDF2)
```

Residuals:

Min	1Q	Median	3Q	Max
-620.33	-77.04	14.26	90.23	332.23

Coefficients:

	Estimate	Std. Error	t value
(Intercept)	1203.02	13.19	91.228
Tempo3	59.59	12.15	4.904
Tempo4	-24.61	12.16	-2.023
Tempo5	-75.64	12.15	-6.225
CaricaGem2	71.02	15.46	4.595
Defogliaz2	23.39	12.80	1.828
Diradam2	14.31	12.15	1.178
ESPOSIZ2	-60.92	29.14	-2.091
CaricaGem2:Defogliaz2	-64.05	18.14	-3.531
CaricaGem2:Diradam2	-40.45	17.21	-2.350
CaricaGem2:ESPOSIZ2	77.70	40.83	1.903
Defogliaz2:ESPOSIZ2	122.70	40.82	3.006
CaricaGem2:Defogliaz2:ESPOSIZ2	-132.04	57.46	-2.298

	Pr(> t)
(Intercept)	< 2e-16 ***
Tempo3	1.11e-06 ***
Tempo4	0.043350 *
Tempo5	7.26e-10 ***
CaricaGem2	4.93e-06 ***
Defogliaz2	0.067940 .
Diradam2	0.239202
ESPOSIZ2	0.036840 *
CaricaGem2:Defogliaz2	0.000434 ***
CaricaGem2:Diradam2	0.018970 *

```
CaricaGem2:ESPOSIZ2      0.057359 .  
Defogliaz2:ESPOSIZ2      0.002718 **  
CaricaGem2:Defogliaz2:ESPOSIZ2 0.021790 *
```

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 132.8 on 940 degrees of freedom

Multiple R-squared: 0.1526, Adjusted R-squared: 0.1417

F-statistic: 14.1 on 12 and 940 DF, p-value: < 2.2e-16

Analysis of Variance Table

Response: ANTHRG

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value
Tempo	3	2263945	754648	42.7719
CaricaGem	1	92828	92828	5.2613
Defogliaz	1	2006	2006	0.1137
Diradam	1	7547	7547	0.4278
ESPOSIZ	1	4229	4229	0.2397
CaricaGem:Defogliaz	1	353840	353840	20.0549
CaricaGem:Diradam	1	98576	98576	5.5871
CaricaGem:ESPOSIZ	1	2350	2350	0.1332
Defogliaz:ESPOSIZ	1	67201	67201	3.8088
CaricaGem:Defogliaz:ESPOSIZ	1	93159	93159	5.2801
Residuals	940	16584942	17644	

Pr(>F)

Tempo	< 2.2e-16 ***
CaricaGem	0.02202 *
Defogliaz	0.73603
Diradam	0.51324
ESPOSIZ	0.62455
CaricaGem:Defogliaz	8.45e-06 ***
CaricaGem:Diradam	0.01830 *
CaricaGem:ESPOSIZ	0.71521
Defogliaz:ESPOSIZ	0.05128 .
CaricaGem:Defogliaz:ESPOSIZ	0.02179 *

Residuals

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

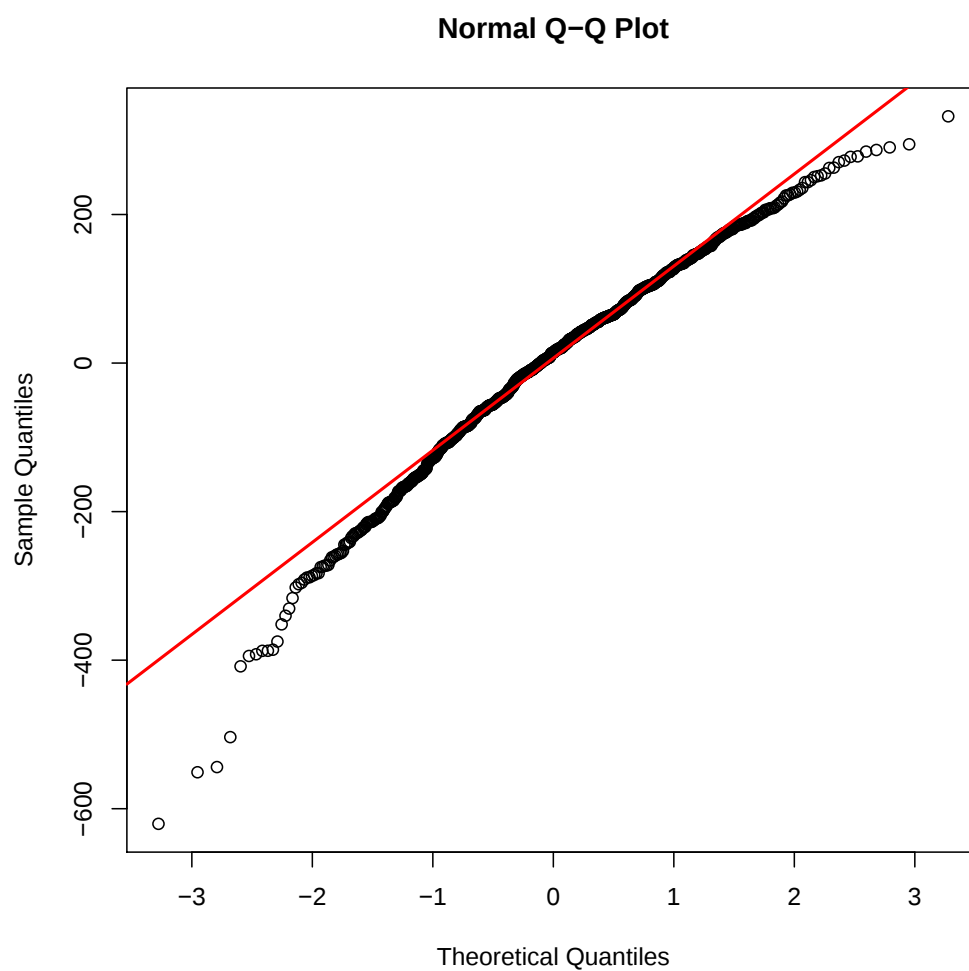


Figura 9: Analisi dei Residui: Q-Q Plot - Modello 0 - ANTHRG - Brolio

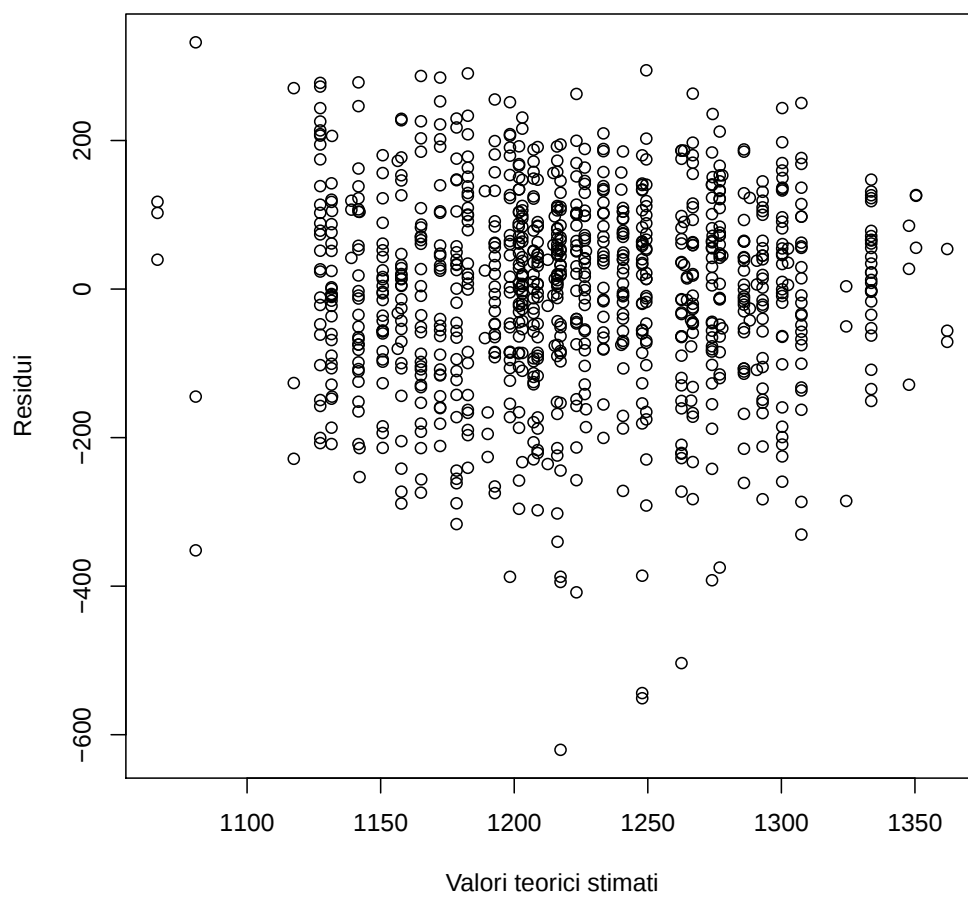


Figura 10: Analisi dei residui: Residui vs Valori teorici stimati - Modello 0 - ANTHRG - Brolio

Given : CaricaGem:Defogliaz:Diradam:ESPOSIZ

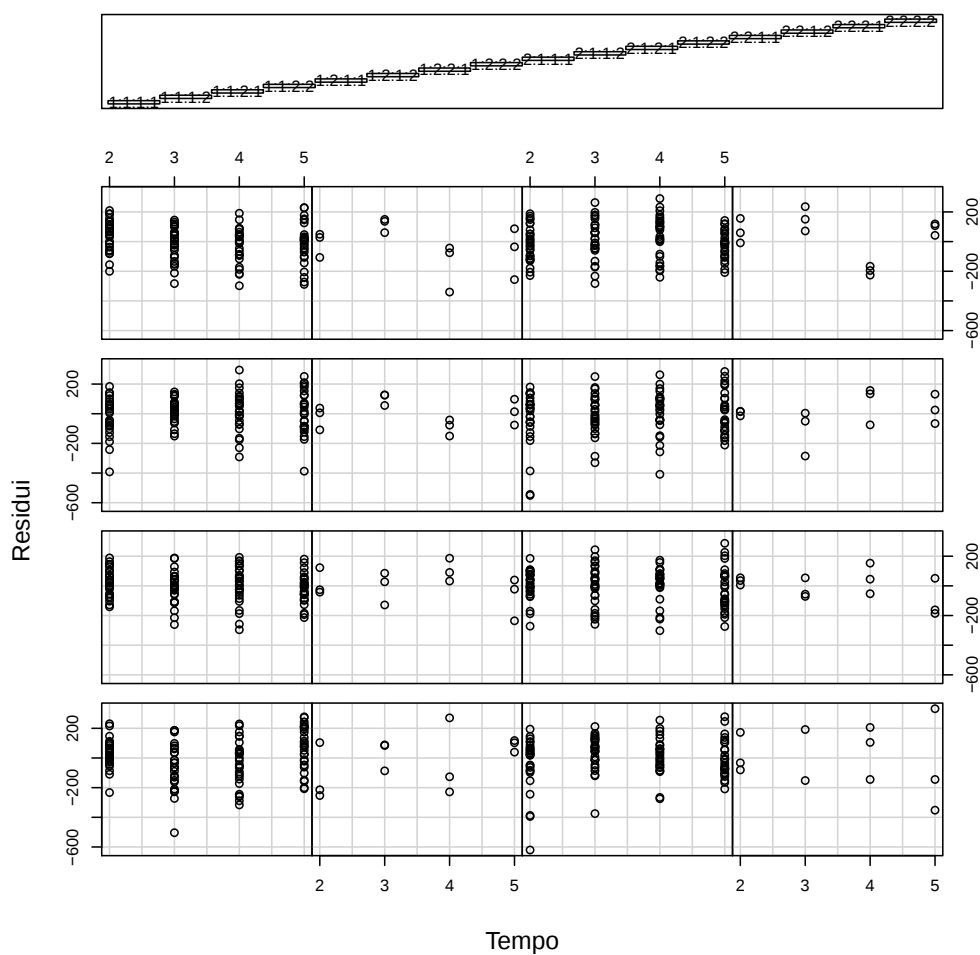


Figura 11: Conditioning Plot - Modello 0 - ANTHRG - Brolio

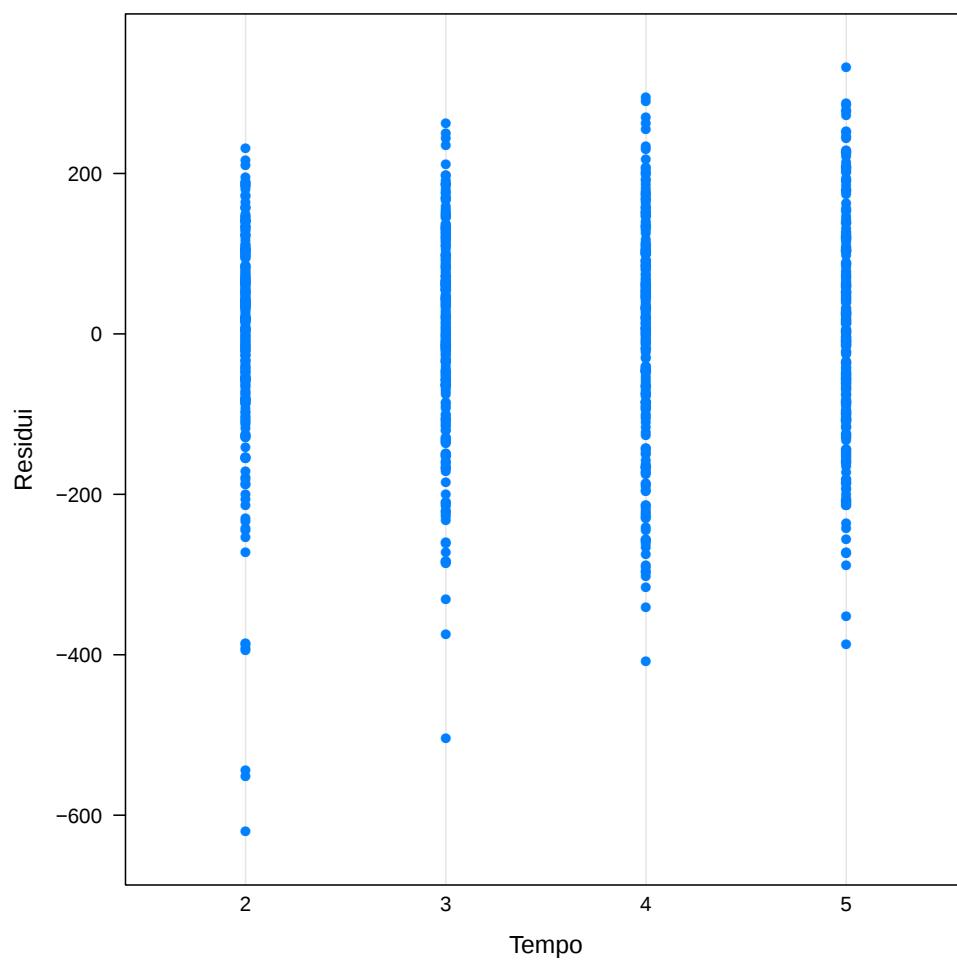


Figura 12: Analisi dei residui: Residui vs Tempo - Modello 0 - ANTHRG - Brolio

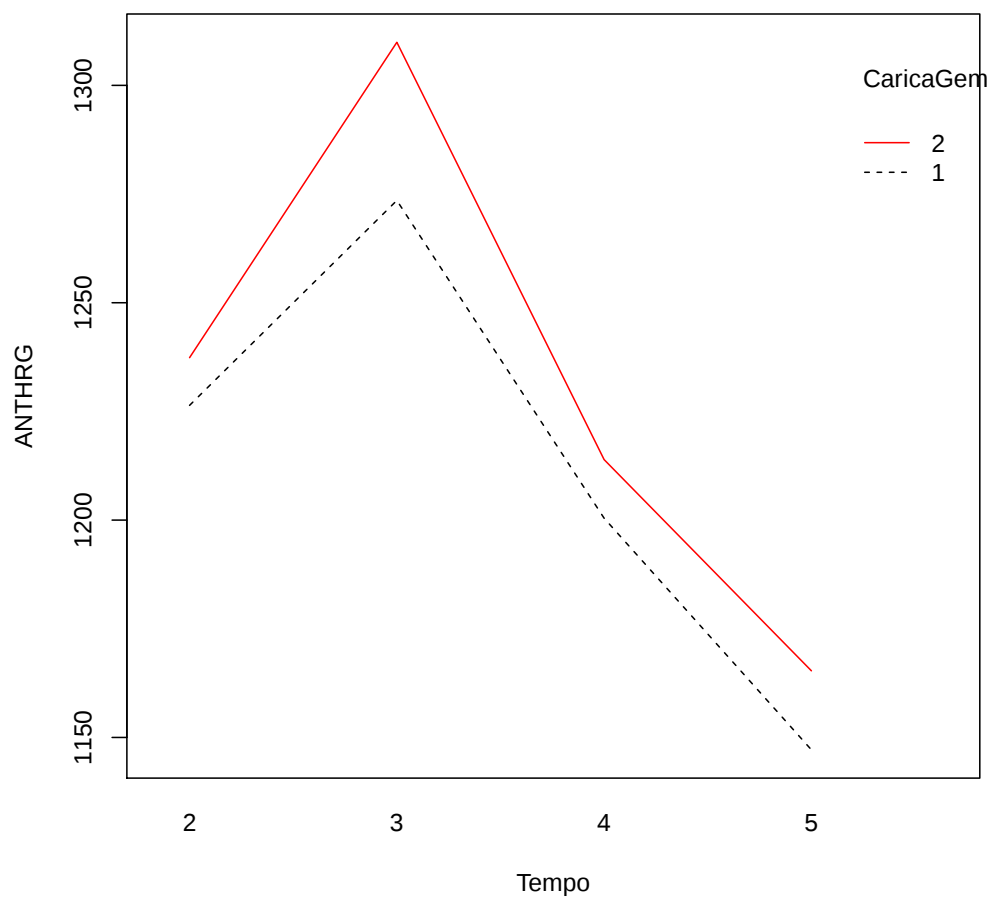


Figura 13: Interaction plot Tempo-Caricagemme - ANTHRG - Brolio

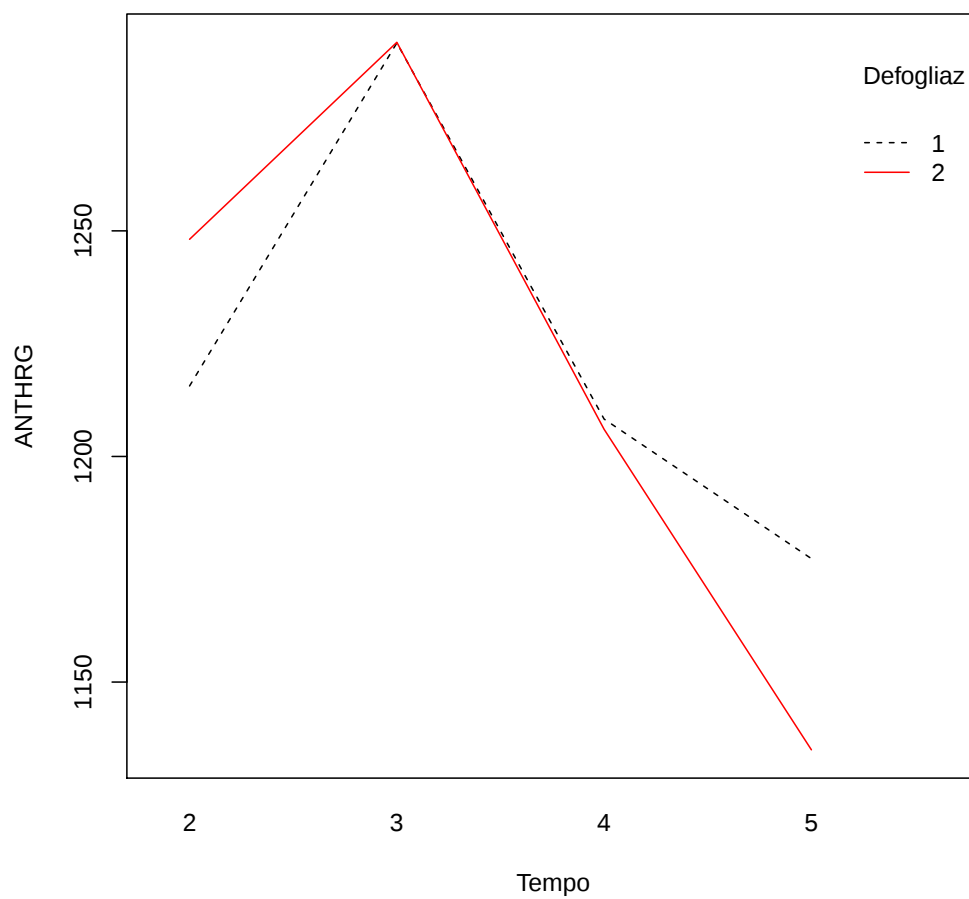


Figura 14: Interaction plot Tempo-Defogliazione - ANTHRG - Brolio

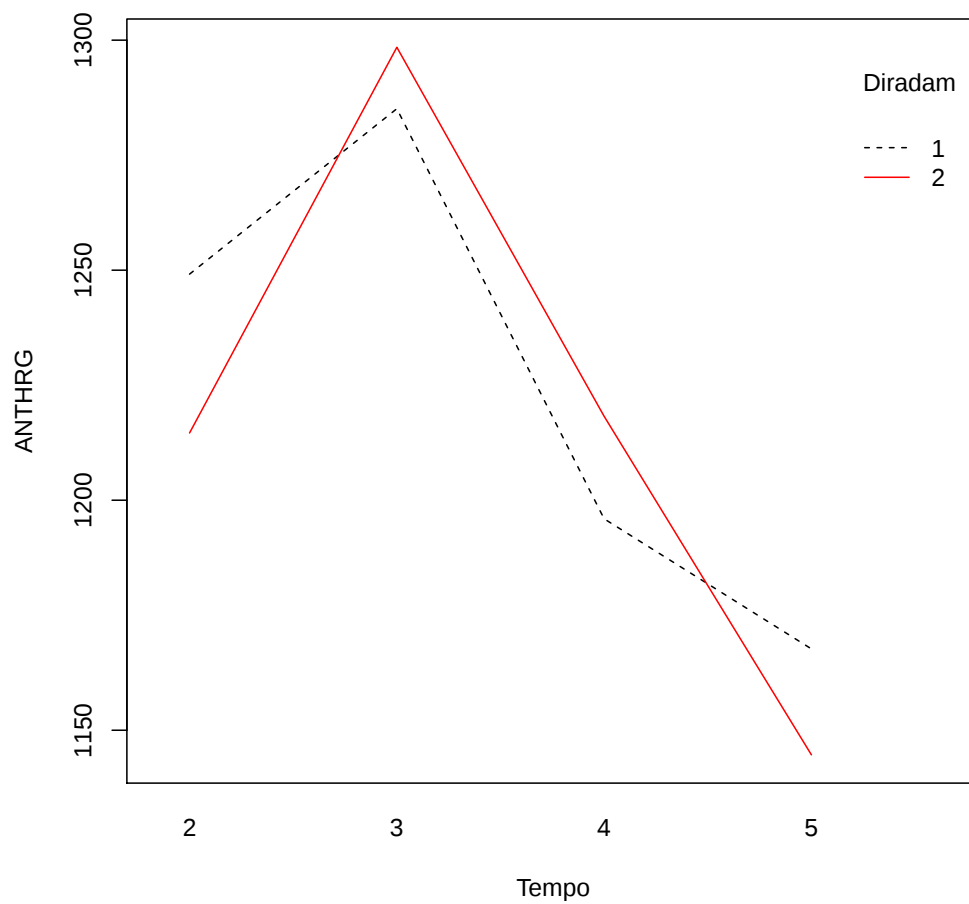


Figura 15: Interaction plot Tempo-Diradamento - ANTHRG - Brolio

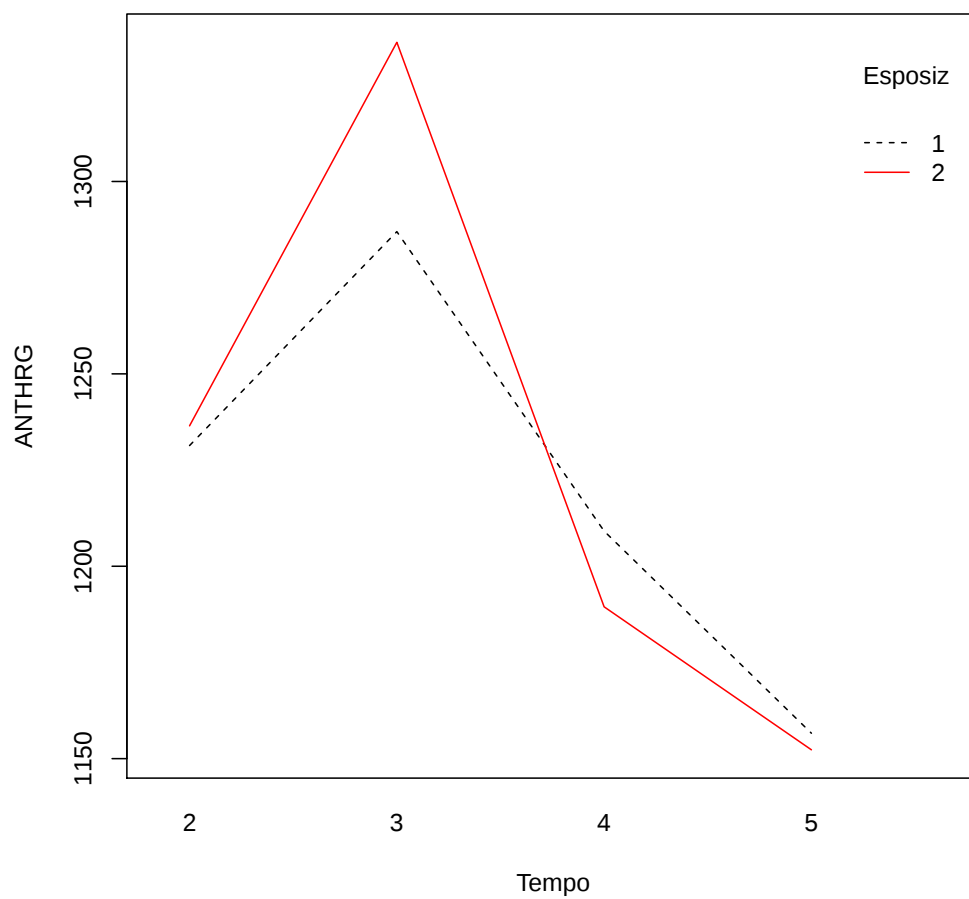


Figura 16: Interaction plot Tempo-Esposizione - ANTHRG - Brolio

5.3 ANOVA per ANTHR

Call:

```
lm(formula = ANTHR ~ Tempo + CaricaGem + Defogliaz + Diradam +  
    ESPOSIZ + CaricaGem:Defogliaz + CaricaGem:Diradam + Defogliaz:Diradam +  
    Defogliaz:ESPOSIZ + CaricaGem:Defogliaz:Diradam, data = BRDF2)
```

Residuals:

Min	1Q	Median	3Q	Max
-730.55	-124.15	14.46	143.25	499.28

Coefficients:

	Estimate	Std. Error	t value
(Intercept)	1227.36	22.44	54.688
Tempo3	92.07	18.98	4.852
Tempo4	158.38	19.00	8.337
Tempo5	208.20	18.98	10.971
CaricaGem2	-228.61	26.89	-8.500
Defogliaz2	72.69	27.15	2.677
Diradam2	-34.37	26.90	-1.278
ESPOSIZ2	23.38	31.88	0.734
CaricaGem2:Defogliaz2	229.87	37.99	6.050
CaricaGem2:Diradam2	147.95	38.07	3.886
Defogliaz2:Diradam2	32.33	37.95	0.852
Defogliaz2:ESPOSIZ2	-105.36	44.87	-2.348
CaricaGem2:Defogliaz2:Diradam2	-112.07	53.76	-2.085

Pr(>|t|)

(Intercept)	< 2e-16 ***
Tempo3	1.43e-06 ***
Tempo4	2.68e-16 ***
Tempo5	< 2e-16 ***
CaricaGem2	< 2e-16 ***
Defogliaz2	0.007562 **
Diradam2	0.201614
ESPOSIZ2	0.463421
CaricaGem2:Defogliaz2	2.09e-09 ***
CaricaGem2:Diradam2	0.000109 ***

```
Defogliaz2:Diradam2          0.394468
Defogliaz2:ESP0SIZ2          0.019058 *
CaricaGem2:Defogliaz2:Diradam2 0.037364 *
```

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 207.4 on 940 degrees of freedom

Multiple R-squared: 0.2885, Adjusted R-squared: 0.2795

F-statistic: 31.77 on 12 and 940 DF, p-value: < 2.2e-16

Analysis of Variance Table

Response: ANTHR

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value
Tempo	3	5840484	1946828	45.2409
CaricaGem	1	1086935	1086935	25.2585
Defogliaz	1	6467434	6467434	150.2918
Diradam	1	177384	177384	4.1221
ESPOSIZ	1	77136	77136	1.7925
CaricaGem:Defogliaz	1	1795477	1795477	41.7237
CaricaGem:Diradam	1	503236	503236	11.6943
Defogliaz:Diradam	1	32393	32393	0.7528
Defogliaz:ESPOSIZ	1	238384	238384	5.5396
CaricaGem:Defogliaz:Diradam	1	187022	187022	4.3461
Residuals	940	40450559	43033	

Pr(>F)

Tempo	< 2.2e-16 ***
CaricaGem	6.001e-07 ***
Defogliaz	< 2.2e-16 ***
Diradam	0.0426079 *
ESPOSIZ	0.1809451
CaricaGem:Defogliaz	1.684e-10 ***
CaricaGem:Diradam	0.0006539 ***
Defogliaz:Diradam	0.3858282
Defogliaz:ESPOSIZ	0.0187957 *
CaricaGem:Defogliaz:Diradam	0.0373643 *

Residuals

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

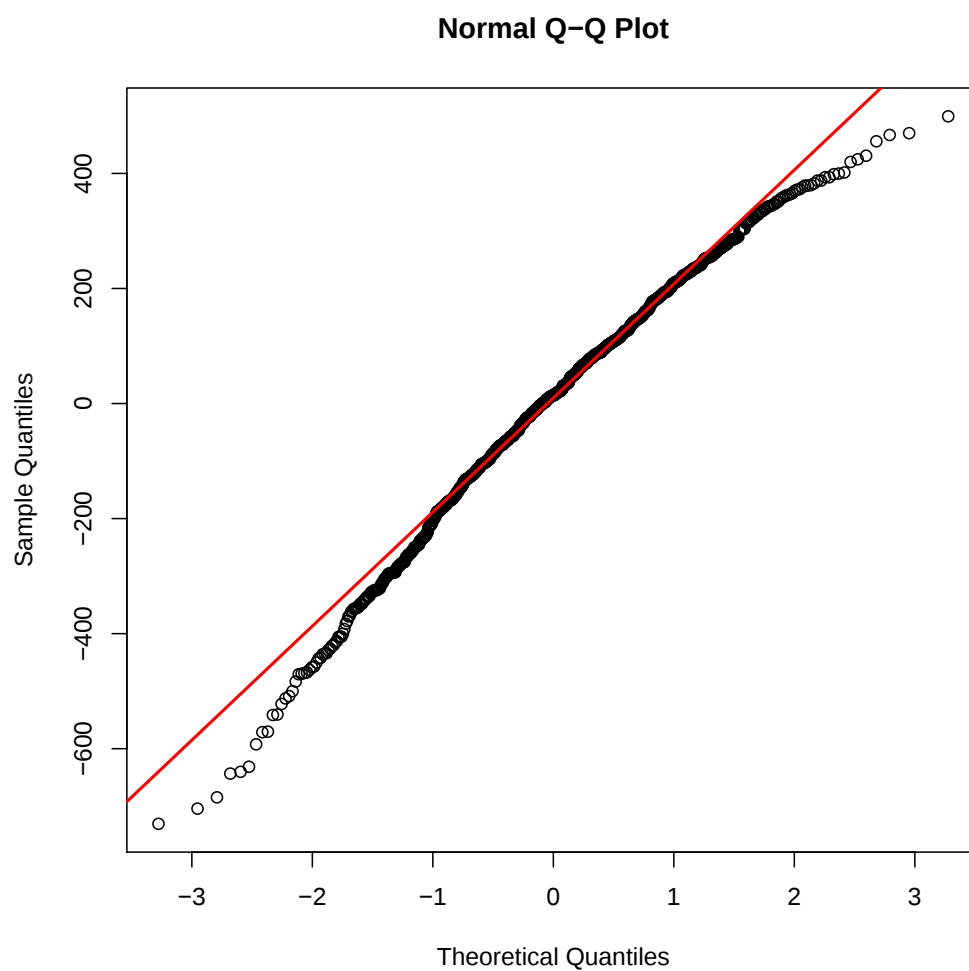


Figura 17: Analisi dei Residui: Q-Q Plot - Modello 0 - ANTHR - Brolio

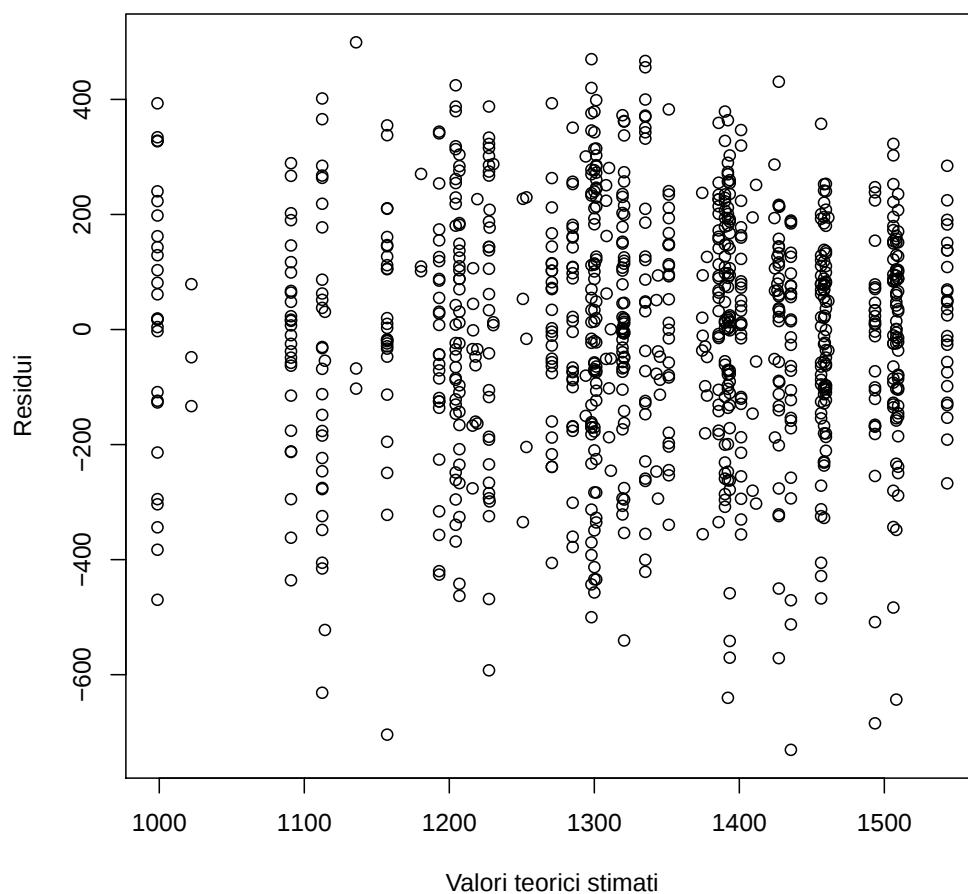


Figura 18: Analisi dei residui: Residui vs Valori teorici stimati - Modello 0 - ANTHR - Brolio

Given : CaricaGem:Defogliaz:Diradam:ESPOSIZ

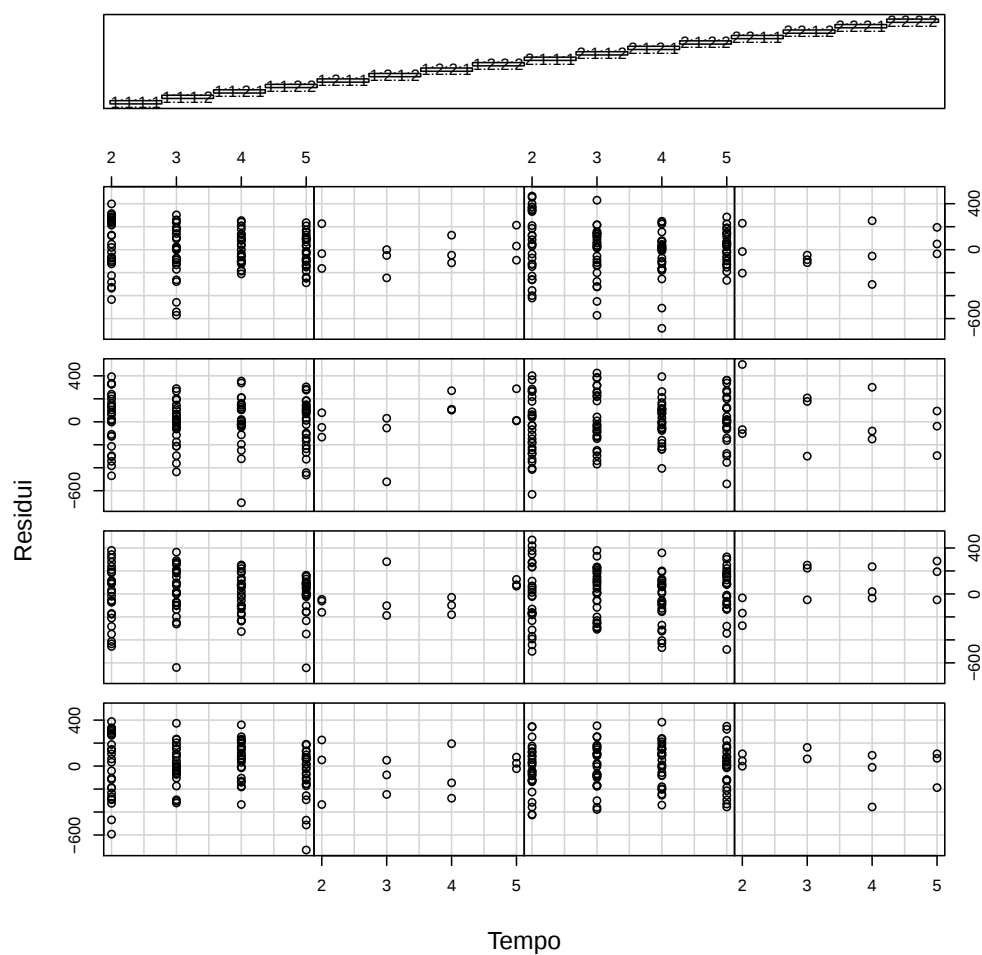


Figura 19: Conditioning Plot - Modello 0 - ANTHR - Brolio

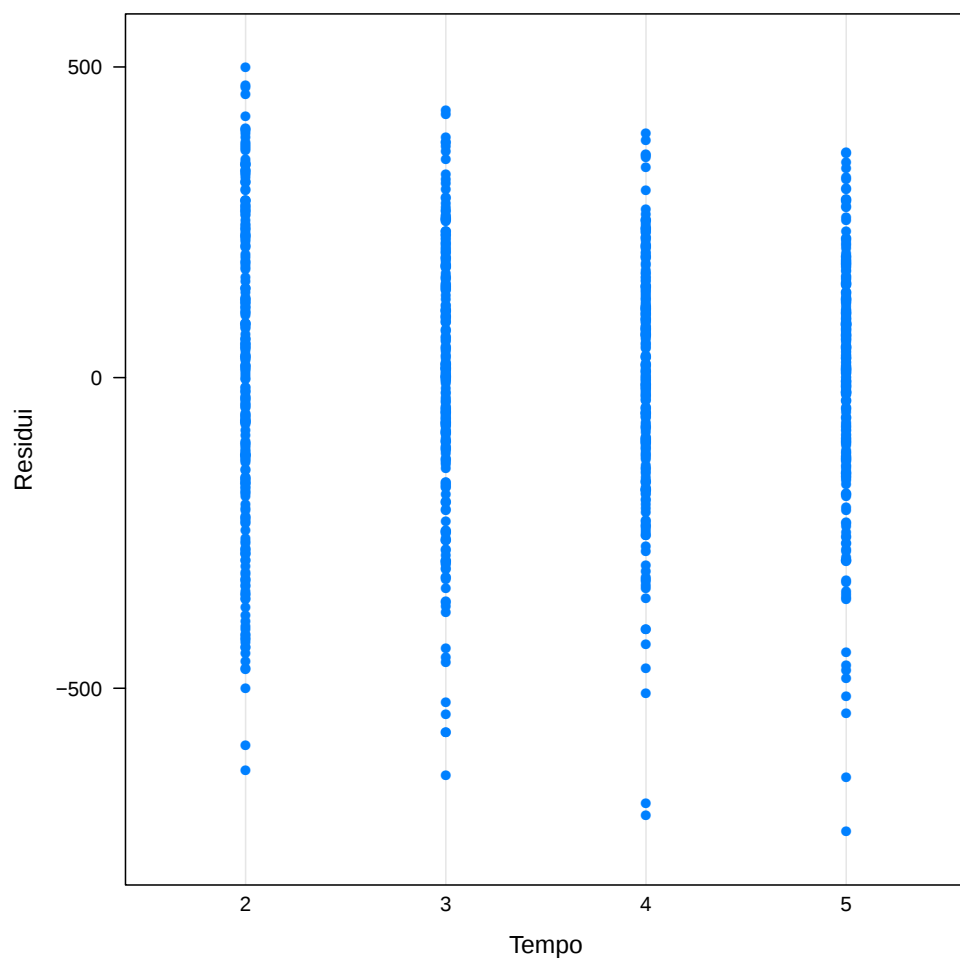


Figura 20: Analisi dei residui: Residui vs Tempo - Modello 0 - ANTHR - Brolio

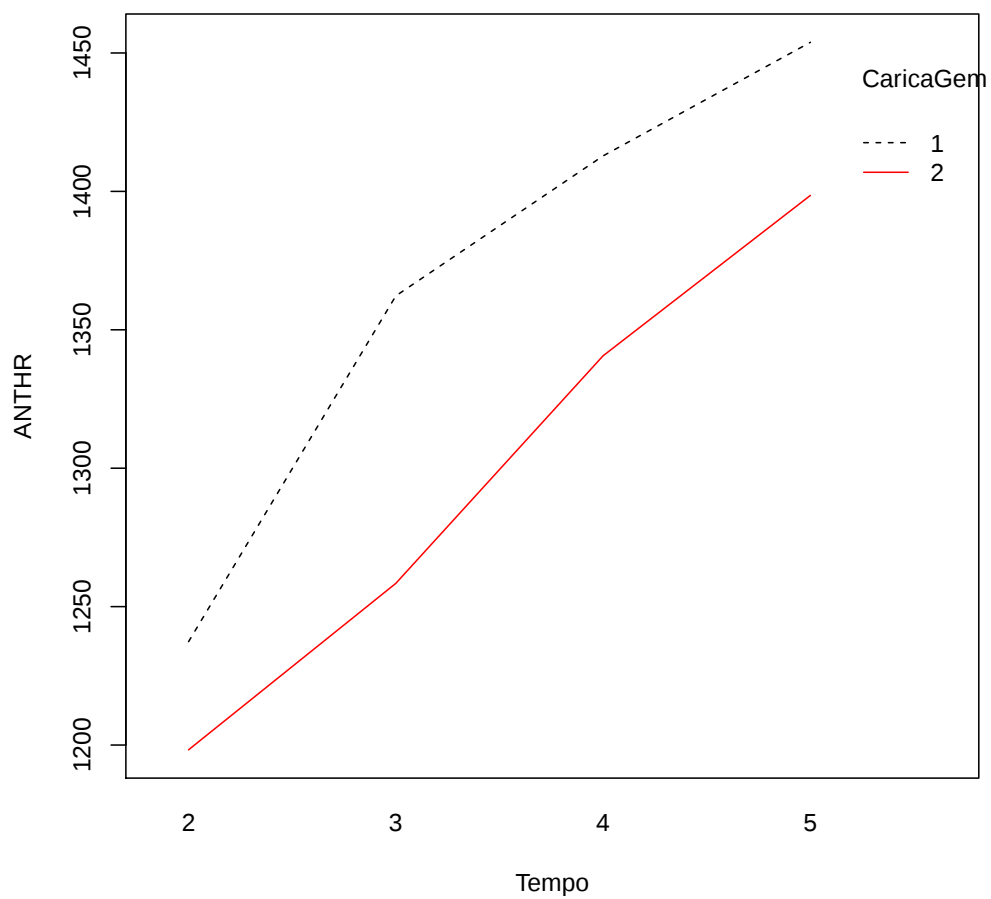


Figura 21: Interaction plot Tempo-Caricagemme - ANTHR - Brolio

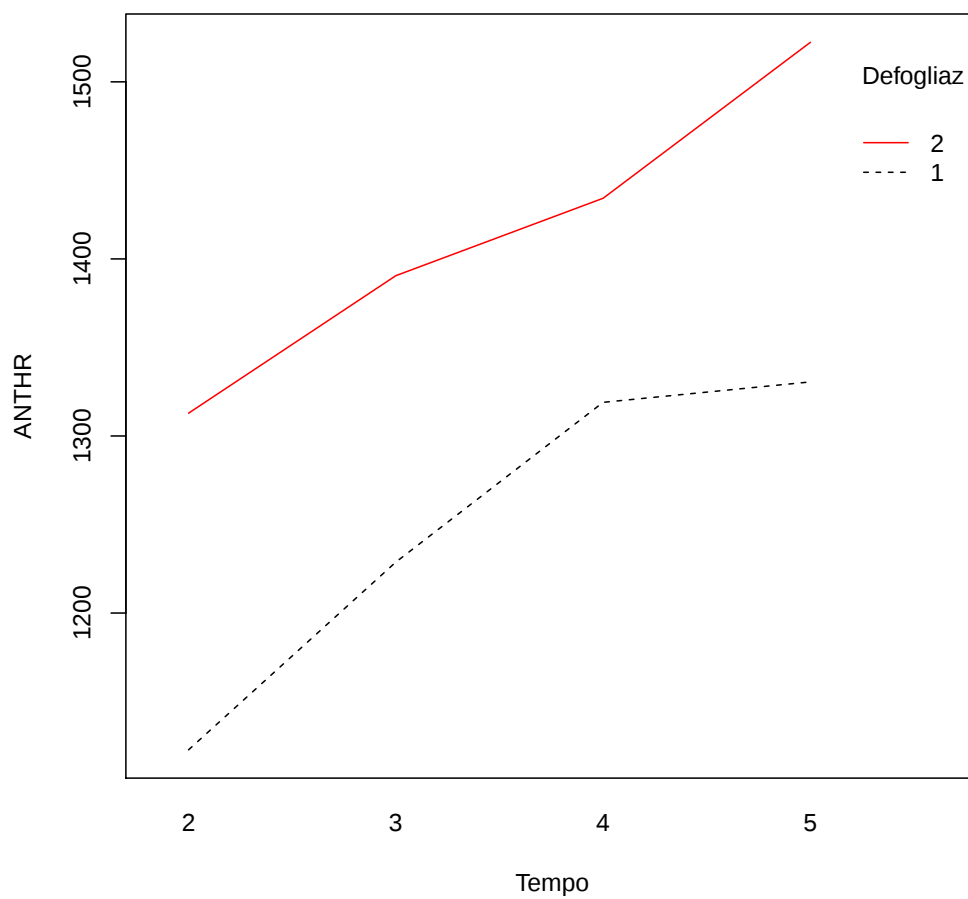


Figura 22: Interaction plot Tempo-Defogliazione - ANTHR - Brolio

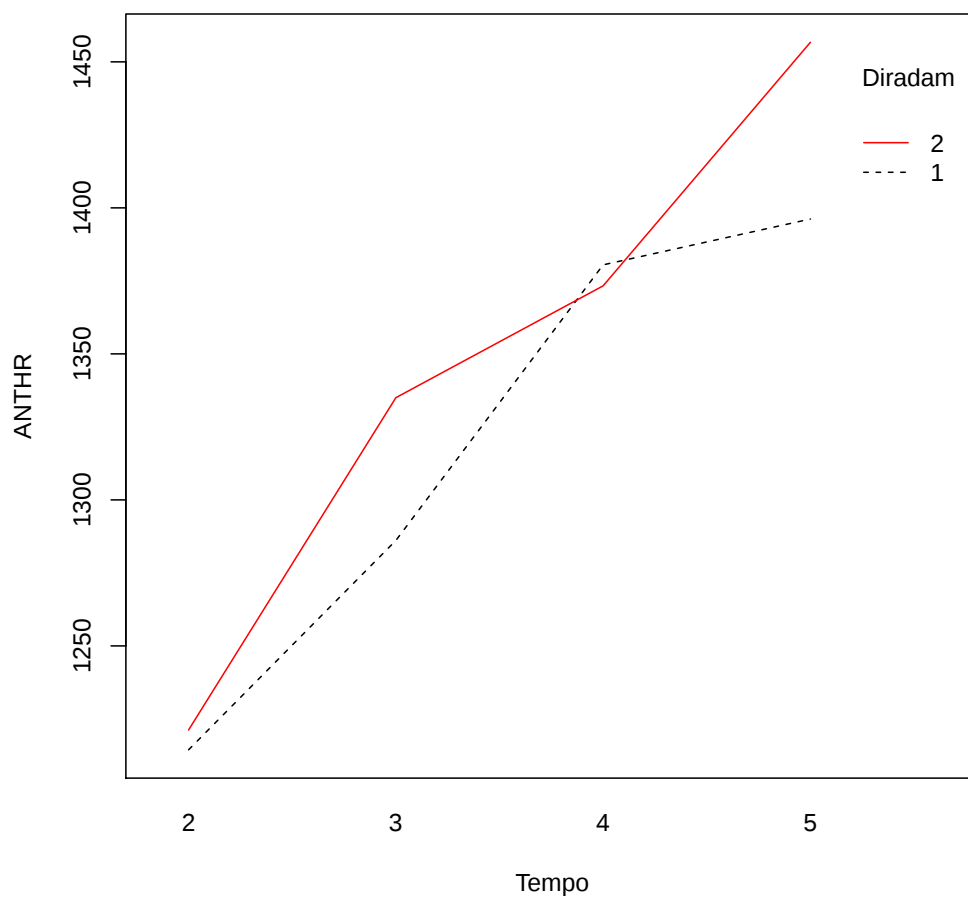


Figura 23: Interaction plot Tempo-Diradamento - ANTHR - Brolio

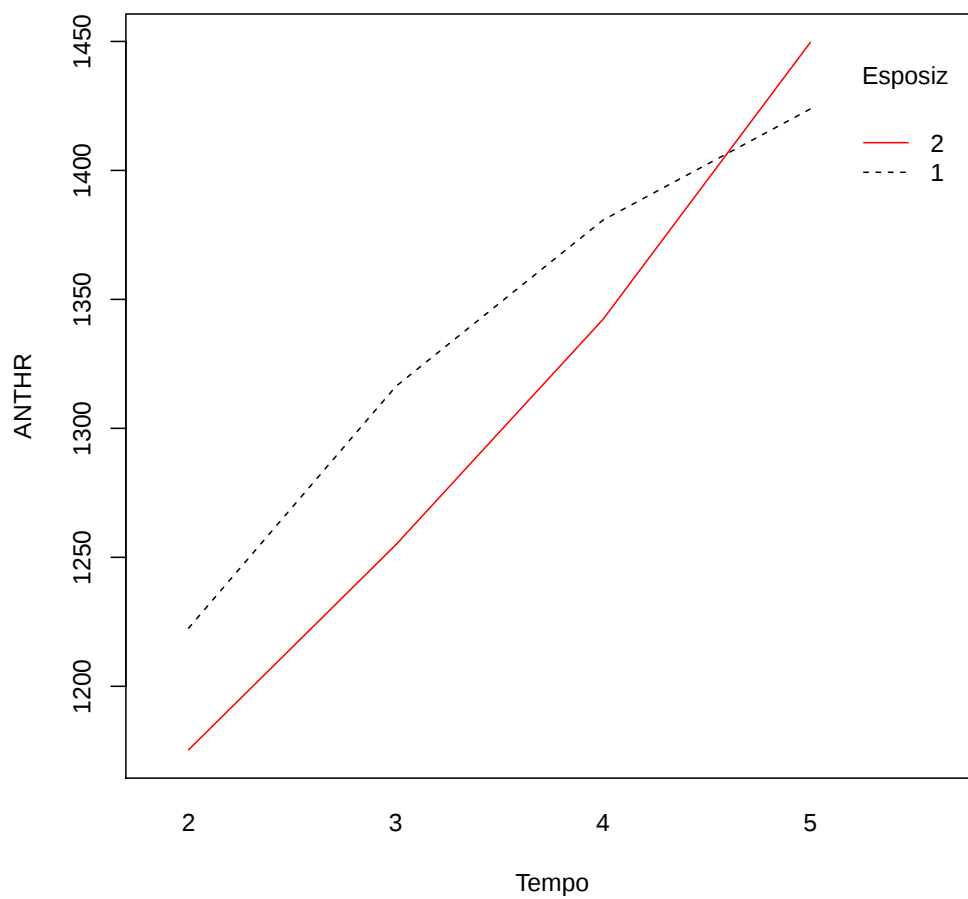


Figura 24: Interaction plot Tempo-Esposizione - ANTHR - Brolio

5.4 ANOVA per ANTHRB

Call:

```
lm(formula = ANTHRB ~ Tempo + CaricaGem * Defogliaz * Diradam *  
    ESPOSIZ, data = BRDF2)
```

Residuals:

Min	1Q	Median	3Q	Max
-312.30	-63.06	-1.94	62.49	346.30

Coefficients:

	Estimate	Std. Error
(Intercept)	350.142	10.823
Tempo3	83.811	8.895
Tempo4	52.873	8.903
Tempo5	73.895	8.894
CaricaGem2	13.557	13.293
Defogliaz2	44.898	13.230
Diradam2	6.159	13.261
ESPOSIZ2	-42.954	29.584
CaricaGem2:Defogliaz2	-8.735	18.777
CaricaGem2:Diradam2	-15.034	18.799
Defogliaz2:Diradam2	17.434	18.733
CaricaGem2:ESPOSIZ2	60.693	41.858
Defogliaz2:ESPOSIZ2	110.102	41.838
Diradam2:ESPOSIZ2	65.841	42.698
CaricaGem2:Defogliaz2:Diradam2	-23.997	26.554
CaricaGem2:Defogliaz2:ESPOSIZ2	-149.265	59.189
CaricaGem2:Diradam2:ESPOSIZ2	-30.966	59.801
Defogliaz2:Diradam2:ESPOSIZ2	-95.517	59.779
CaricaGem2:Defogliaz2:Diradam2:ESPOSIZ2	148.997	84.135

	t value	Pr(> t)
(Intercept)	32.352	< 2e-16 ***
Tempo3	9.423	< 2e-16 ***
Tempo4	5.938	4.05e-09 ***
Tempo5	8.308	3.39e-16 ***
CaricaGem2	1.020	0.308048

Defogliaz2	3.394	0.000719	***
Diradam2	0.464	0.642446	
ESPOSIZ2	-1.452	0.146860	
CaricaGem2:Defogliaz2	-0.465	0.641873	
CaricaGem2:Diradam2	-0.800	0.424058	
Defogliaz2:Diradam2	0.931	0.352271	
CaricaGem2:ESPOSIZ2	1.450	0.147402	
Defogliaz2:ESPOSIZ2	2.632	0.008638	**
Diradam2:ESPOSIZ2	1.542	0.123410	
CaricaGem2:Defogliaz2:Diradam2	-0.904	0.366378	
CaricaGem2:Defogliaz2:ESPOSIZ2	-2.522	0.011840	*
CaricaGem2:Diradam2:ESPOSIZ2	-0.518	0.604711	
Defogliaz2:Diradam2:ESPOSIZ2	-1.598	0.110420	
CaricaGem2:Defogliaz2:Diradam2:ESPOSIZ2	1.771	0.076897	.

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 97.22 on 934 degrees of freedom

Multiple R-squared: 0.1672, Adjusted R-squared: 0.1512

F-statistic: 10.42 on 18 and 934 DF, p-value: < 2.2e-16

Analysis of Variance Table

Response: ANTHRB

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value
Tempo	3	1006037	335346	35.4775
CaricaGem	1	3001	3001	0.3175
Defogliaz	1	500856	500856	52.9875
Diradam	1	6987	6987	0.7391
ESPOSIZ	1	53962	53962	5.7088
CaricaGem:Defogliaz	1	47429	47429	5.0177
CaricaGem:Diradam	1	30554	30554	3.2324
Defogliaz:Diradam	1	672	672	0.0711
CaricaGem:ESPOSIZ	1	1314	1314	0.1390
Defogliaz:ESPOSIZ	1	13618	13618	1.4407
Diradam:ESPOSIZ	1	34168	34168	3.6148
CaricaGem:Defogliaz:Diradam	1	1205	1205	0.1274
CaricaGem:Defogliaz:ESPOSIZ	1	30286	30286	3.2041
CaricaGem:Diradam:ESPOSIZ	1	10585	10585	1.1198
Defogliaz:Diradam:ESPOSIZ	1	2201	2201	0.2328
CaricaGem:Defogliaz:Diradam:ESPOSIZ	1	29645	29645	3.1362
Residuals	934	8828495	9452	
		Pr(>F)		
Tempo	< 2.2e-16	***		
CaricaGem	0.57328			
Defogliaz	7.118e-13	***		
Diradam	0.39016			
ESPOSIZ	0.01708	*		
CaricaGem:Defogliaz	0.02532	*		
CaricaGem:Diradam	0.07252	.		
Defogliaz:Diradam	0.78980			
CaricaGem:ESPOSIZ	0.70936			
Defogliaz:ESPOSIZ	0.23033			
Diradam:ESPOSIZ	0.05758	.		
CaricaGem:Defogliaz:Diradam	0.72118			
CaricaGem:Defogliaz:ESPOSIZ	0.07378	.		
CaricaGem:Diradam:ESPOSIZ	0.29023			
Defogliaz:Diradam:ESPOSIZ	0.62956			

CaricaGem:Defogliaz:Diradam:ESP0SIZ 0.07690 .

Residuals

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

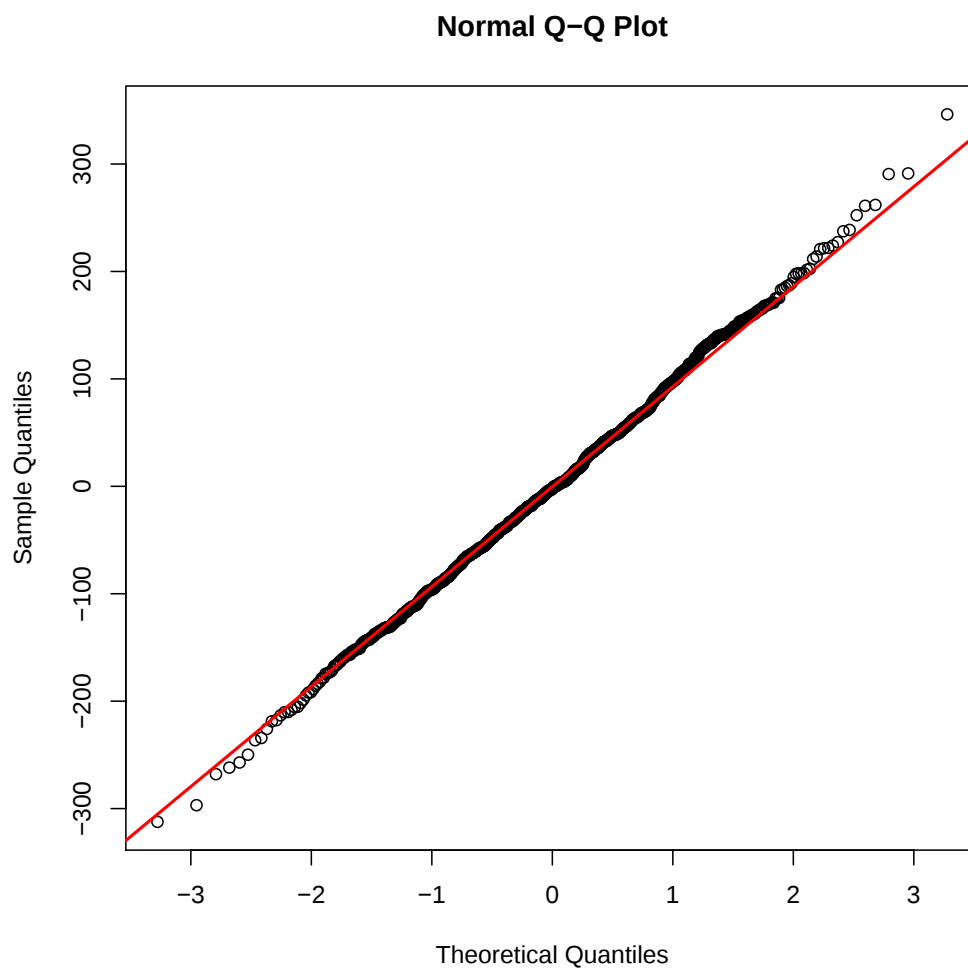


Figura 25: Analisi dei Residui: Q-Q Plot - Modello 0 - ANTHRB - Brolio

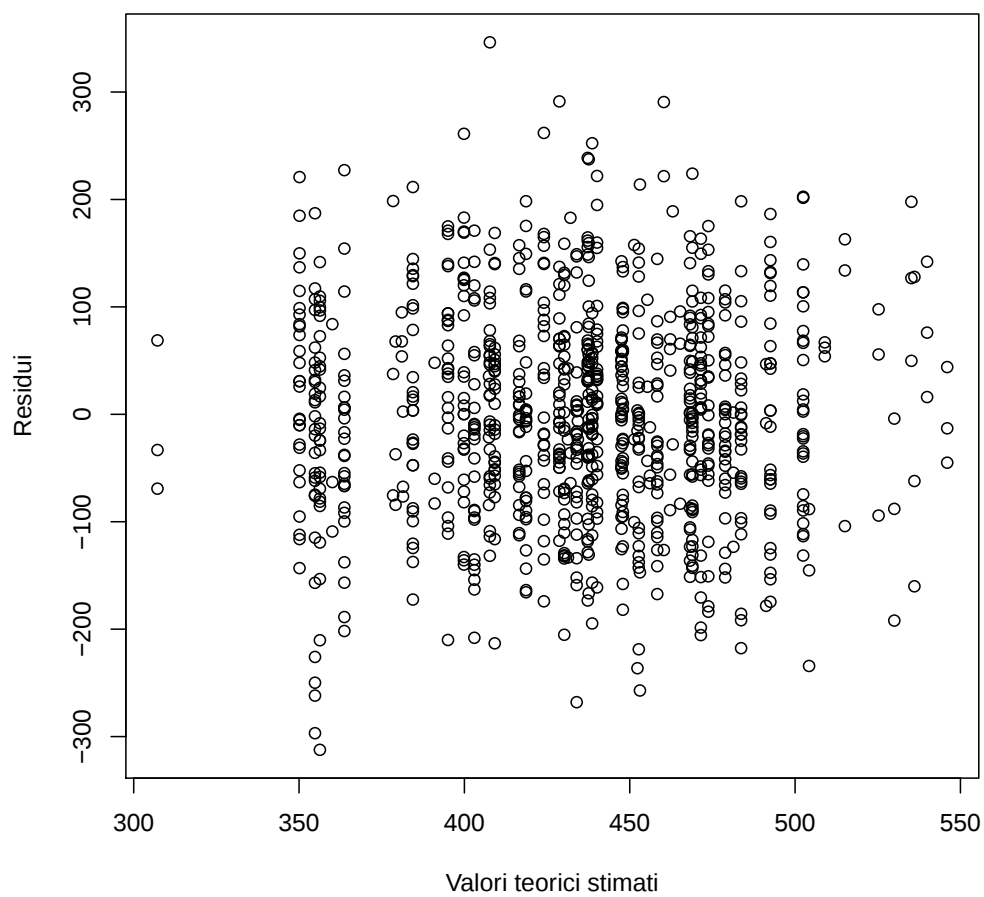


Figura 26: Analisi dei residui: Residui vs Valori teorici stimati - Modello 0 - ANTHRB - Brolio

Given : CaricaGem:Defogliaz:Diradam:ESPOSIZ

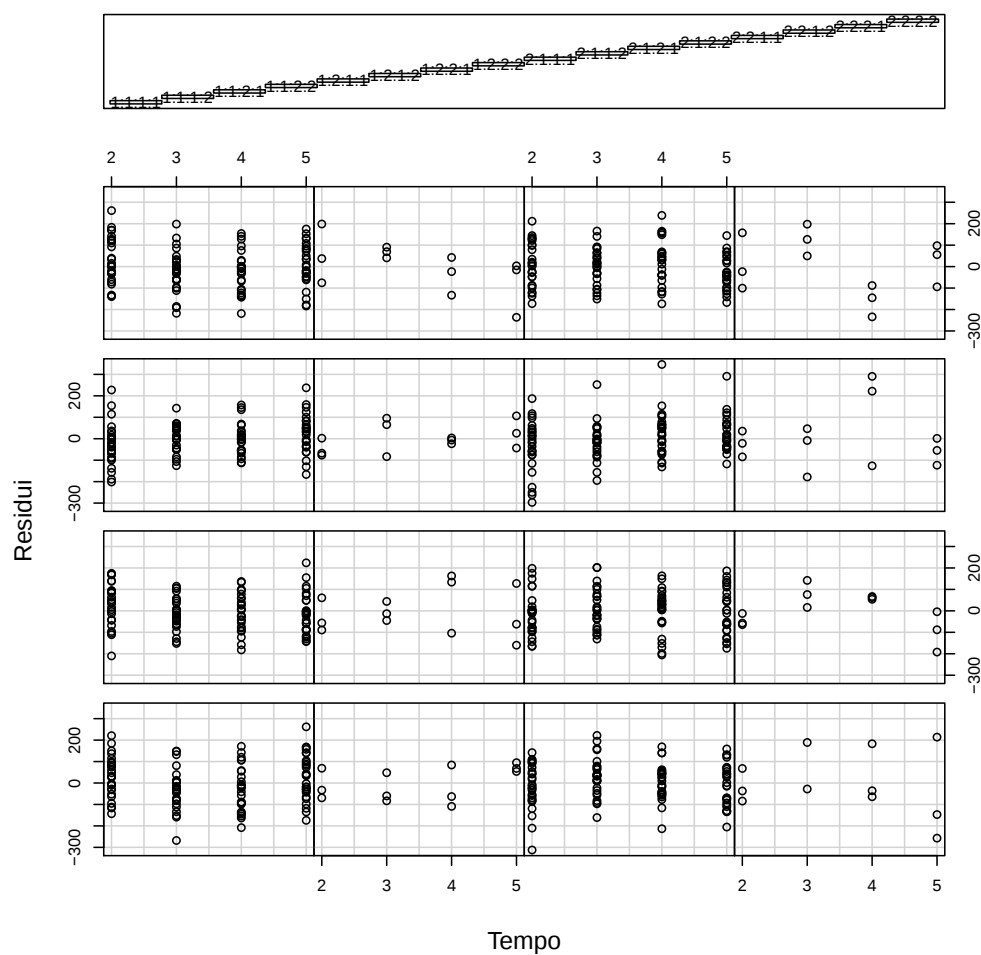


Figura 27: Conditioning Plot - Modello 0 - ANTHRB - Brolio

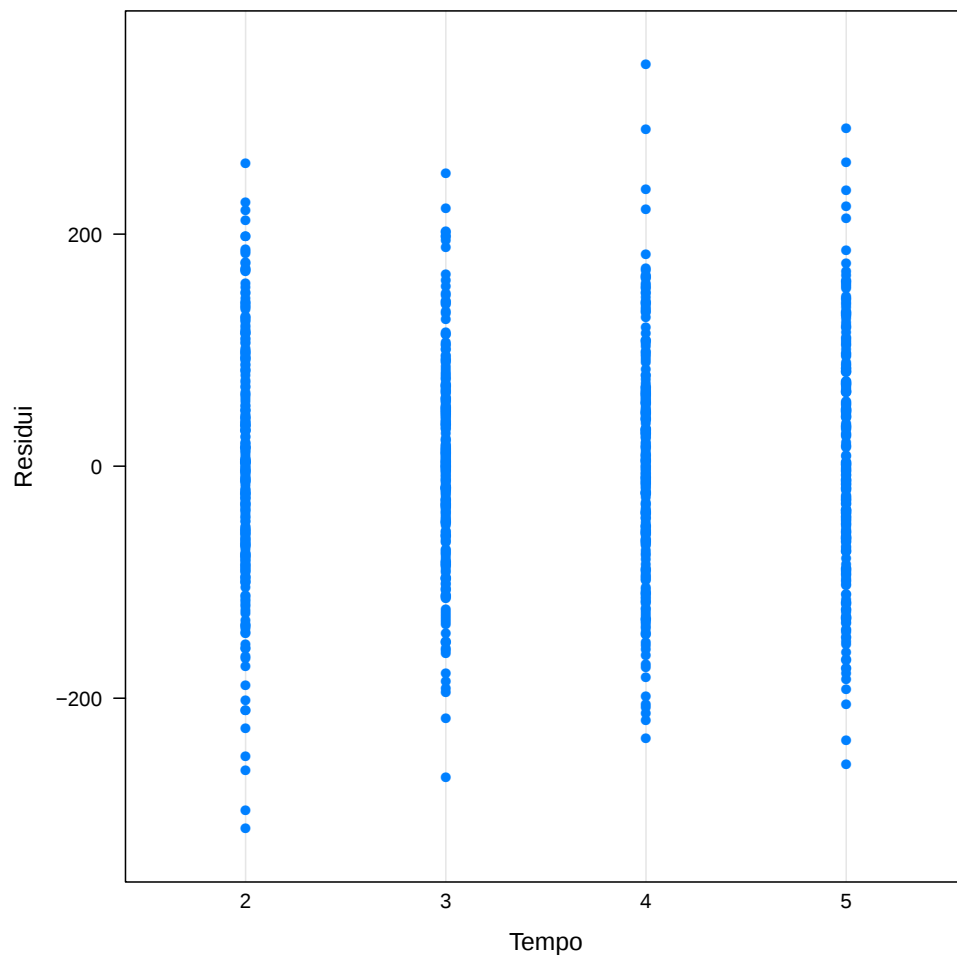


Figura 28: Analisi dei residui: Residui vs Tempo - Modello 0 - ANTHRB - Brolio

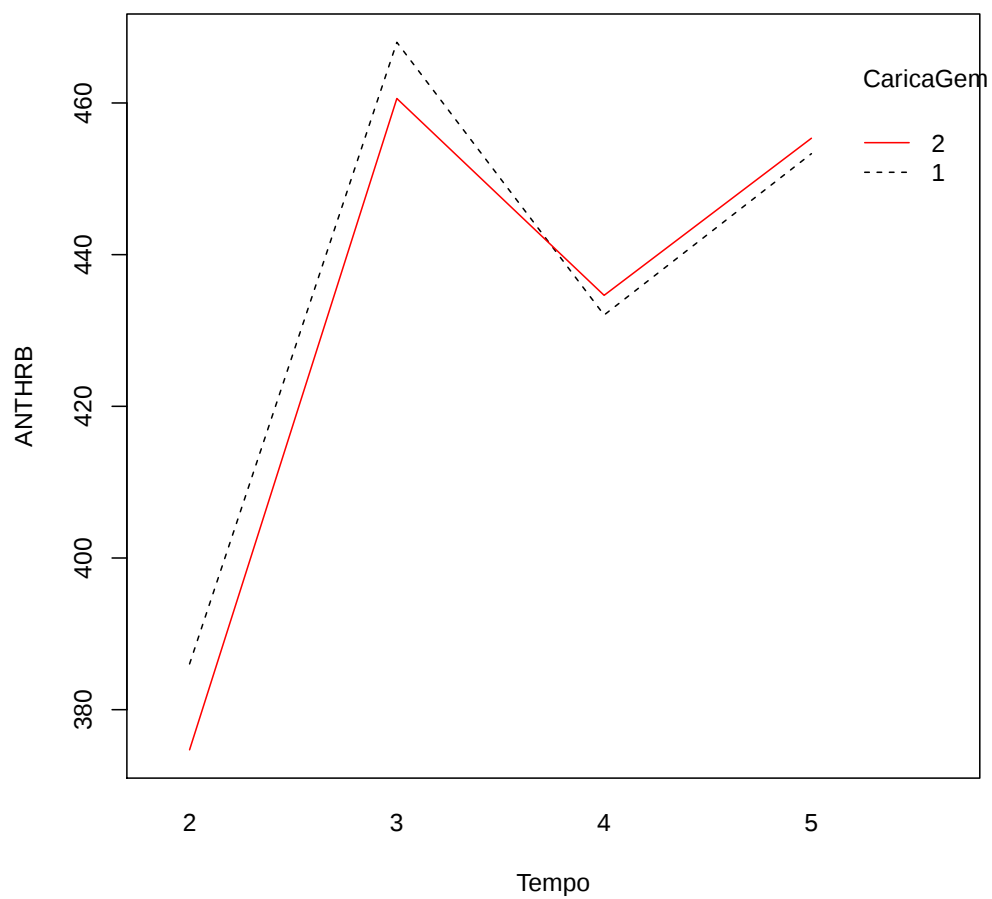


Figura 29: Interaction plot Tempo-Caricagemme - ANTHRB - Brolio

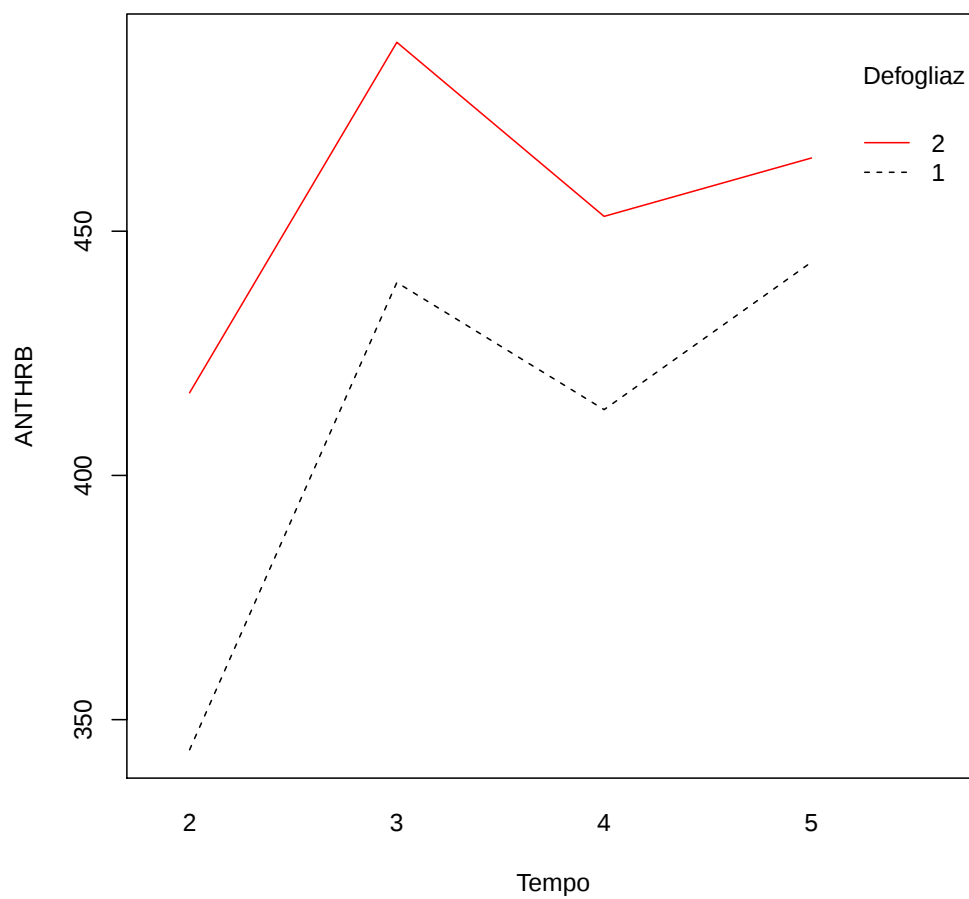


Figura 30: Interaction plot Tempo-Defogliazione - ANTHR - Brolio

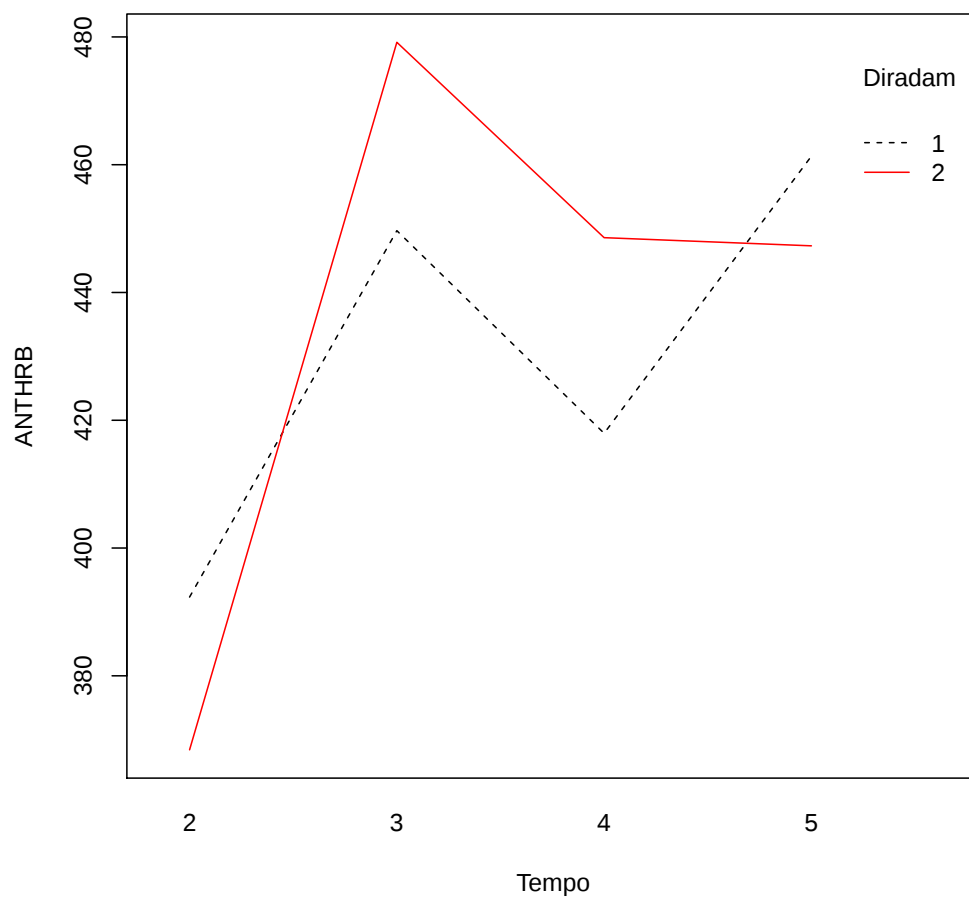


Figura 31: Interaction plot Tempo-Diradamento - ANTHR B - Brolio

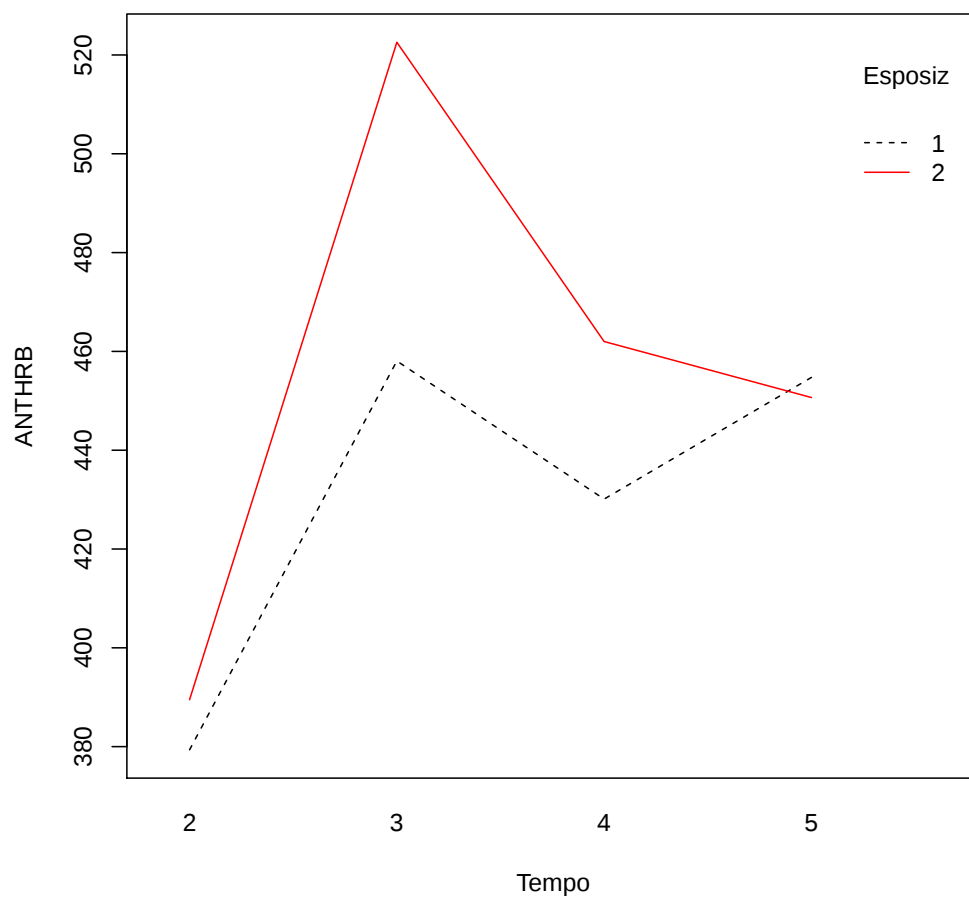


Figura 32: Interaction plot Tempo-Esposizione - ANTHRB - Brolio

5.5 ANOVA per ANTHB

Call:

```
lm(formula = ANTHB ~ Tempo + CaricaGem + Defogliaz + Diradam +  
    ESPOSIZ + CaricaGem:Defogliaz + CaricaGem:Diradam + Defogliaz:Diradam +  
    Defogliaz:ESPOSIZ + Diradam:ESPOSIZ + CaricaGem:Defogliaz:Diradam,  
    data = BRDF2)
```

Residuals:

Min	1Q	Median	3Q	Max
-881.19	-138.65	24.24	162.82	622.35

Coefficients:

	Estimate	Std. Error	t value
(Intercept)	1575.671	26.333	59.835
Tempo3	176.075	22.163	7.945
Tempo4	211.276	22.186	9.523
Tempo5	282.111	22.162	12.729
CaricaGem2	-208.918	31.409	-6.652
Defogliaz2	126.070	31.712	3.975
Diradam2	-29.075	31.815	-0.914
ESPOSIZ2	-2.197	45.236	-0.049
CaricaGem2:Defogliaz2	206.245	44.371	4.648
CaricaGem2:Diradam2	129.515	44.466	2.913
Defogliaz2:Diradam2	39.979	44.326	0.902
Defogliaz2:ESPOSIZ2	-80.788	52.399	-1.542
Diradam2:ESPOSIZ2	77.209	52.399	1.473
CaricaGem2:Defogliaz2:Diradam2	-120.803	62.784	-1.924

	Pr(> t)
(Intercept)	< 2e-16 ***
Tempo3	5.56e-15 ***
Tempo4	< 2e-16 ***
Tempo5	< 2e-16 ***
CaricaGem2	4.92e-11 ***
Defogliaz2	7.56e-05 ***
Diradam2	0.36101
ESPOSIZ2	0.96127

CaricaGem2:Defogliaz2	3.83e-06 ***
CaricaGem2:Diradam2	0.00367 **
Defogliaz2:Diradam2	0.36733
Defogliaz2:ESP0SIZ2	0.12346
Diradam2:ESP0SIZ2	0.14095
CaricaGem2:Defogliaz2:Diradam2	0.05464 .

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 242.3 on 939 degrees of freedom

Multiple R-squared: 0.3074, Adjusted R-squared: 0.2978

F-statistic: 32.05 on 13 and 939 DF, p-value: < 2.2e-16

Analysis of Variance Table

Response: ANTHB

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value
Tempo	3	10374887	3458296	58.9225
CaricaGem	1	1202242	1202242	20.4838
Defogliaz	1	10567657	10567657	180.0519
Diradam	1	255662	255662	4.3560
ESPOSIZ	1	2073	2073	0.0353
CaricaGem:Defogliaz	1	1262252	1262252	21.5063
CaricaGem:Diradam	1	285829	285829	4.8700
Defogliaz:Diradam	1	23726	23726	0.4042
Defogliaz:ESPOSIZ	1	137830	137830	2.3483
Diradam:ESPOSIZ	1	128509	128509	2.1895
CaricaGem:Defogliaz:Diradam	1	217288	217288	3.7021
Residuals	939	55112063	58692	

Pr(>F)

Tempo	< 2.2e-16 ***
CaricaGem	6.785e-06 ***
Defogliaz	< 2.2e-16 ***
Diradam	0.03715 *
ESPOSIZ	0.85097
CaricaGem:Defogliaz	4.026e-06 ***
CaricaGem:Diradam	0.02757 *
Defogliaz:Diradam	0.52506
Defogliaz:ESPOSIZ	0.12575
Diradam:ESPOSIZ	0.13929
CaricaGem:Defogliaz:Diradam	0.05464 .
Residuals	

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

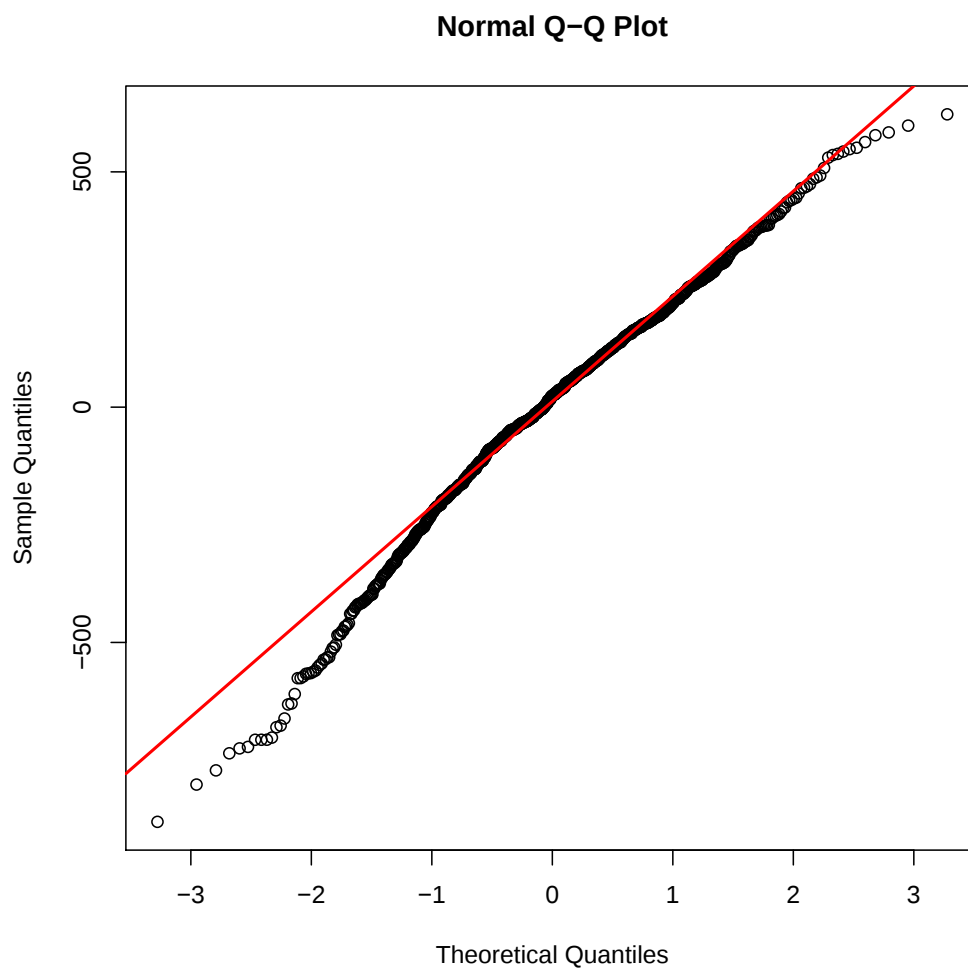


Figura 33: Analisi dei Residui: Q-Q Plot - Modello 0 - ANTHB - Brolio

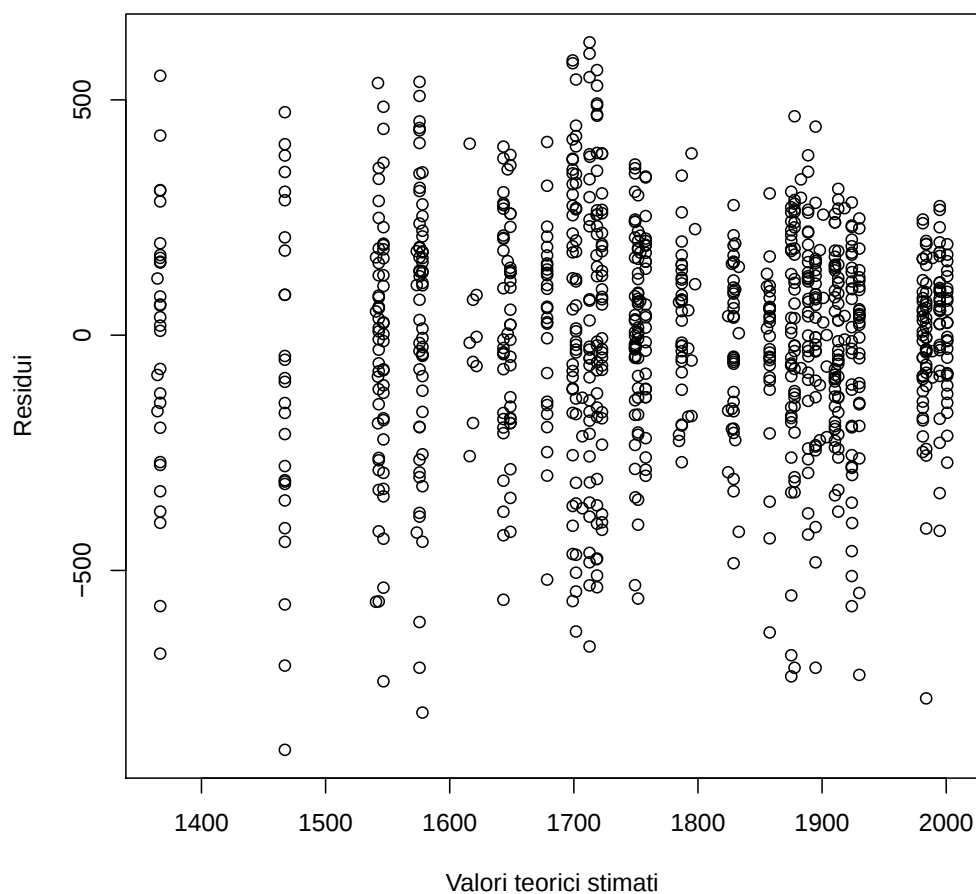


Figura 34: Analisi dei residui: Residui vs Valori teorici stimati - Modello 0 - ANTHB - Brolio

Given : CaricaGem:Defogliaz:Diradam:ESPOSIZ

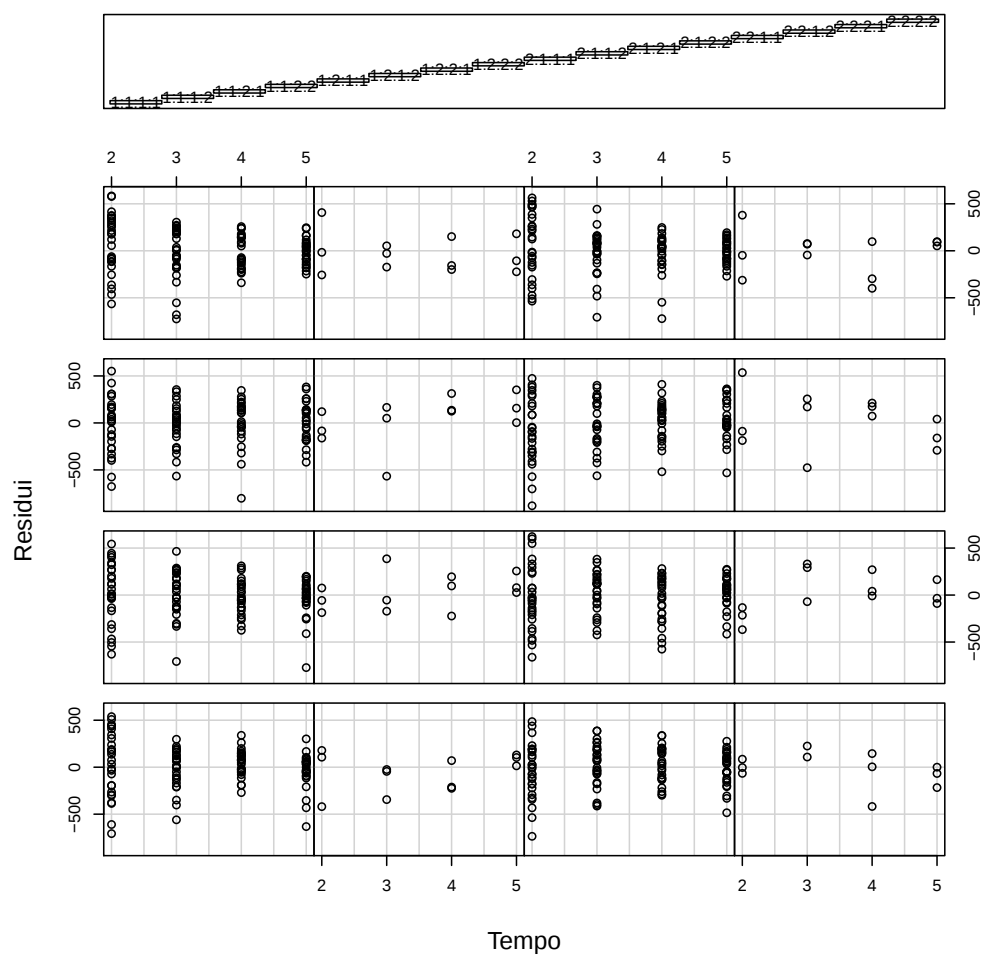


Figura 35: Conditioning Plot - Modello 0 - ANTHB - Brolio

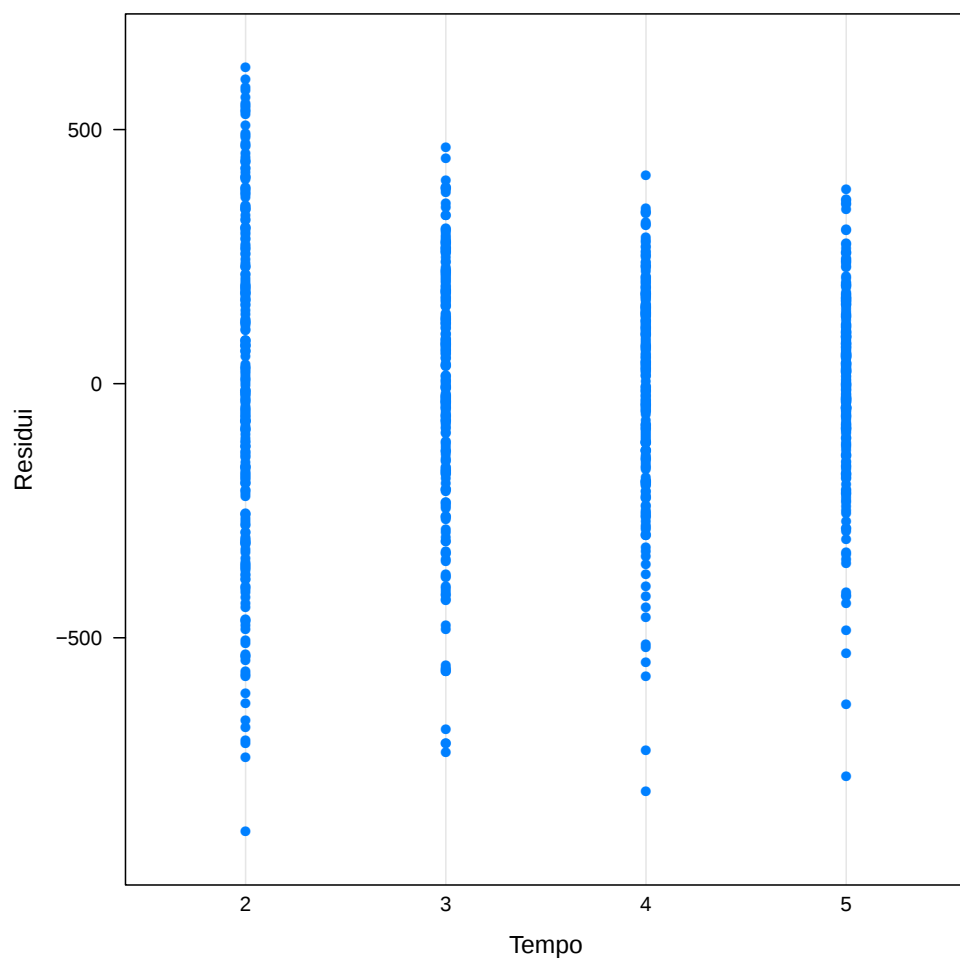


Figura 36: Analisi dei residui: Residui vs Tempo - Modello 0 - ANTHB - Brolio

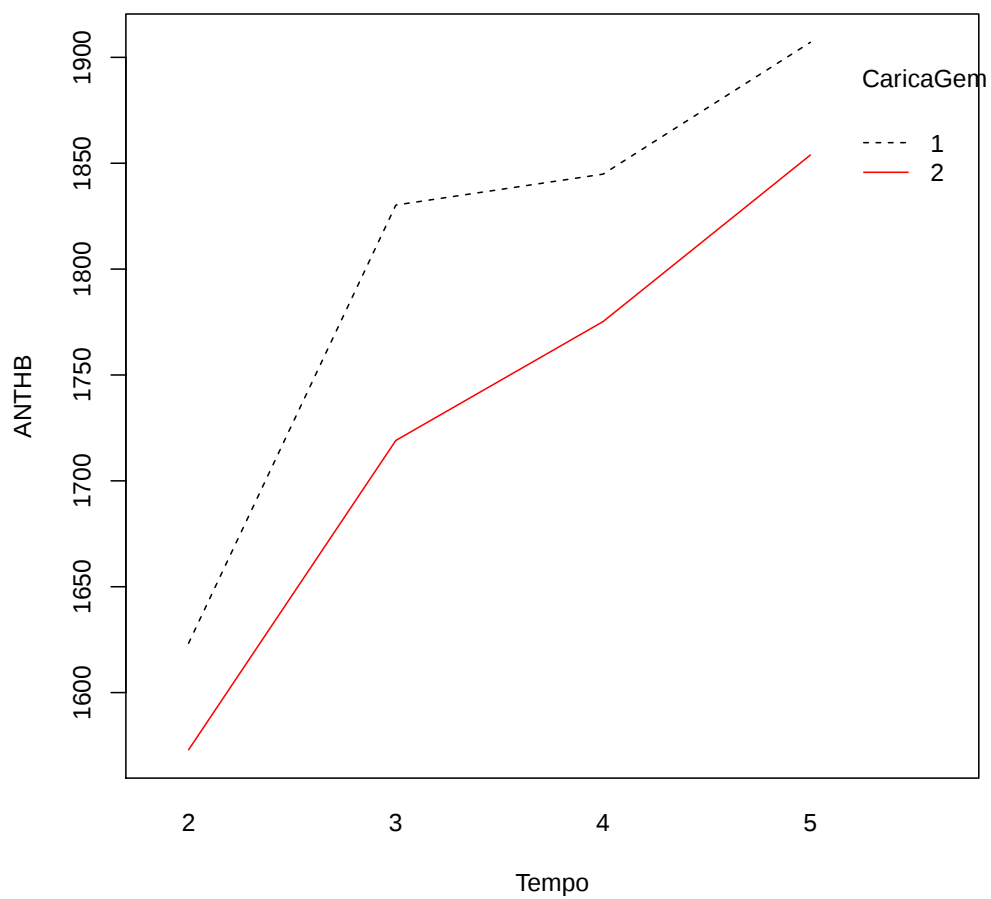


Figura 37: Interaction plot Tempo-Caricagemme - ANTHB - Brolio

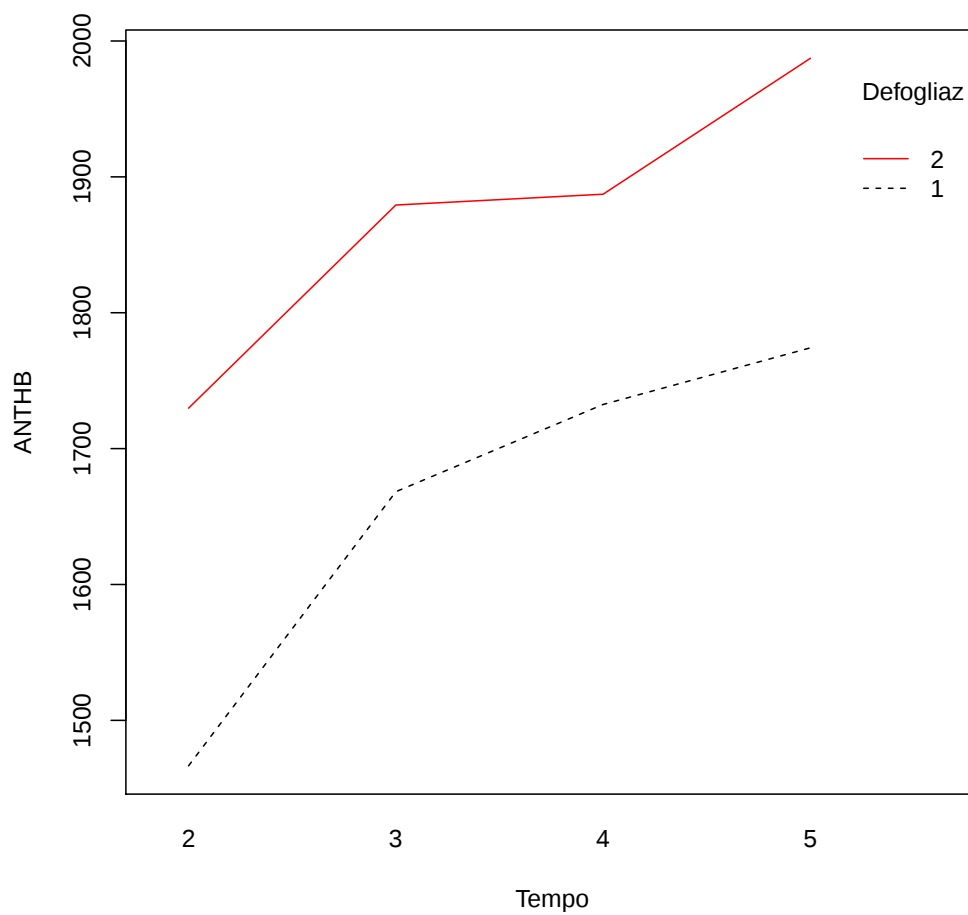


Figura 38: Interaction plot Tempo-Defogliazione - ANTHB - Brolio

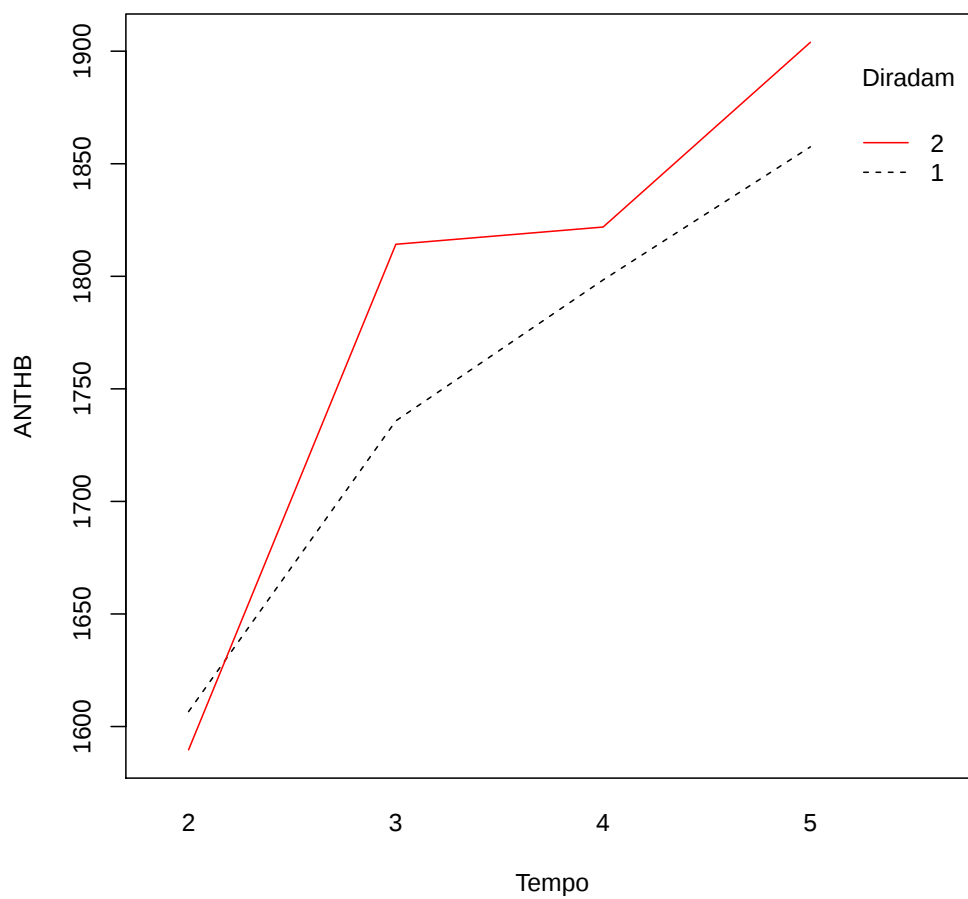


Figura 39: Interaction plot Tempo-Diradamento - ANTHB - Brolio

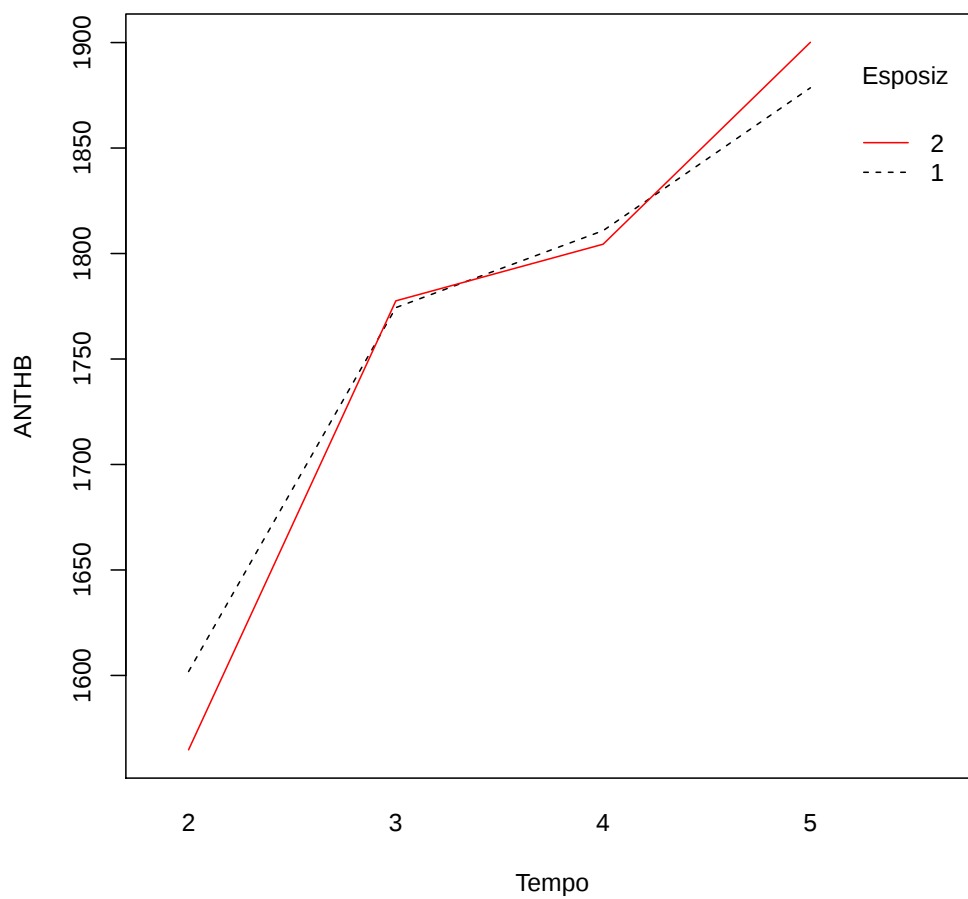


Figura 40: Interaction plot Tempo-Esposizione - ANTHB - Brolio

5.6 ANOVA per ANTHRUV

Call:

```
lm(formula = ANTHRUV ~ Tempo + CaricaGem + Defogliaz + Diradam +  
    ESPOSIZ + CaricaGem:Defogliaz + CaricaGem:Diradam + Defogliaz:Diradam +  
    Defogliaz:ESPOSIZ + Diradam:ESPOSIZ + Defogliaz:Diradam:ESPOSIZ,  
    data = BRDF2)
```

Residuals:

Min	1Q	Median	3Q	Max
-386.19	-92.00	-8.89	82.59	448.89

Coefficients:

	Estimate	Std. Error	t value
(Intercept)	982.089	14.601	67.263
Tempo3	-122.983	12.800	-9.608
Tempo4	-83.090	12.814	-6.485
Tempo5	-236.256	12.800	-18.458
CaricaGem2	35.097	15.707	2.234
Defogliaz2	110.523	16.235	6.808
Diradam2	15.917	16.260	0.979
ESPOSIZ2	8.319	30.121	0.276
CaricaGem2:Defogliaz2	-49.266	18.131	-2.717
CaricaGem2:Diradam2	-47.712	18.131	-2.632
Defogliaz2:Diradam2	-20.666	19.108	-1.082
Defogliaz2:ESPOSIZ2	131.151	42.592	3.079
Diradam2:ESPOSIZ2	86.342	43.013	2.007
Defogliaz2:Diradam2:ESPOSIZ2	-100.654	60.529	-1.663

Pr(>|t|)

(Intercept)	< 2e-16 ***
Tempo3	< 2e-16 ***
Tempo4	1.44e-10 ***
Tempo5	< 2e-16 ***
CaricaGem2	0.02569 *
Defogliaz2	1.77e-11 ***
Diradam2	0.32787
ESPOSIZ2	0.78245

CaricaGem2:Defogliaz2	0.00670 **
CaricaGem2:Diradam2	0.00864 **
Defogliaz2:Diradam2	0.27972
Defogliaz2:ESP0SIZ2	0.00214 **
Diradam2:ESP0SIZ2	0.04500 *
Defogliaz2:Diradam2:ESP0SIZ2	0.09667 .

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 139.9 on 939 degrees of freedom

Multiple R-squared: 0.3513, Adjusted R-squared: 0.3423

F-statistic: 39.12 on 13 and 939 DF, p-value: < 2.2e-16

Analysis of Variance Table

Response: ANTHRUUV

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value
Tempo	3	6900528	2300176	117.4873
CaricaGem	1	42088	42088	2.1498
Defogliaz	1	1680486	1680486	85.8351
Diradam	1	51580	51580	2.6346
ESPOSIZ	1	721302	721302	36.8423
CaricaGem:Defogliaz	1	144874	144874	7.3998
CaricaGem:Diradam	1	134966	134966	6.8938
Defogliaz:Diradam	1	56499	56499	2.8858
Defogliaz:ESPOSIZ	1	142548	142548	7.2810
Diradam:ESPOSIZ	1	26961	26961	1.3771
Defogliaz:Diradam:ESPOSIZ	1	54138	54138	2.7653
Residuals	939	18383817	19578	

Pr(>F)

Tempo	< 2.2e-16 ***
CaricaGem	0.142926
Defogliaz	< 2.2e-16 ***
Diradam	0.104895
ESPOSIZ	1.857e-09 ***
CaricaGem:Defogliaz	0.006644 **
CaricaGem:Diradam	0.008790 **
Defogliaz:Diradam	0.089693 .
Defogliaz:ESPOSIZ	0.007094 **
Diradam:ESPOSIZ	0.240895
Defogliaz:Diradam:ESPOSIZ	0.096665 .
Residuals	

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

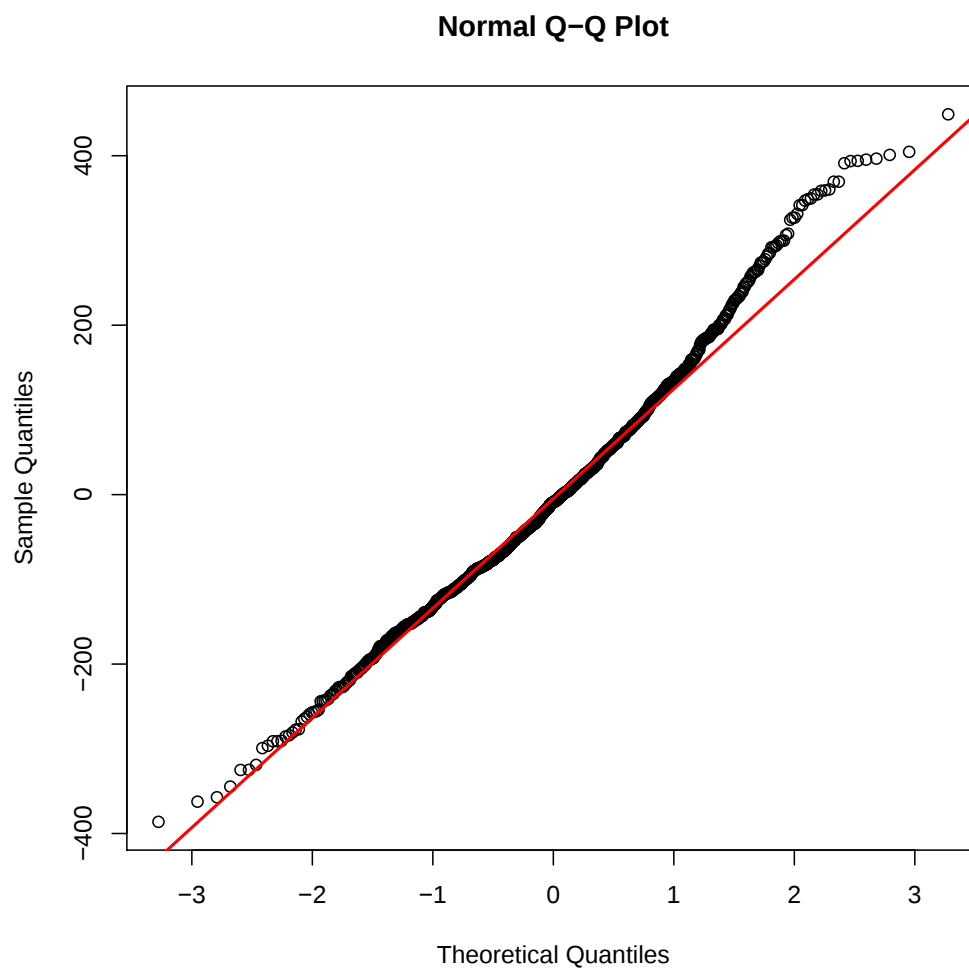


Figura 41: Analisi dei Residui: Q-Q Plot - Modello 0 - ANTHRUV - Brolio

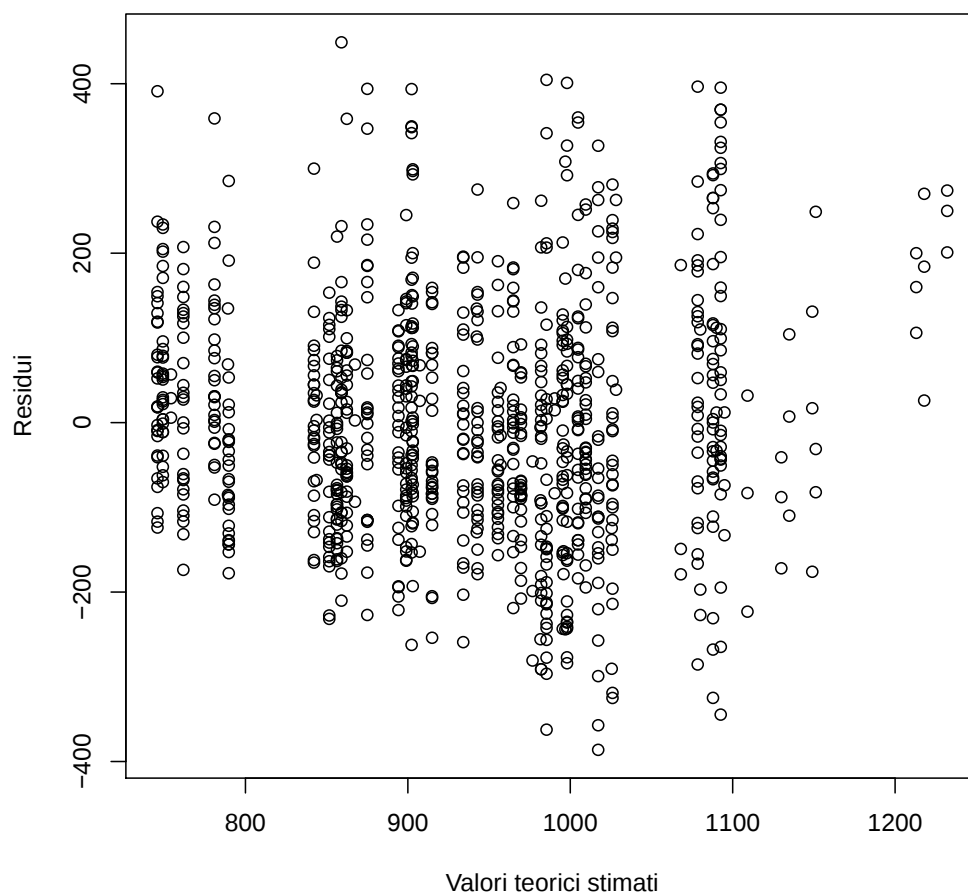


Figura 42: Analisi dei residui: Residui vs Valori teorici stimati - Modello 0 - ANTHRUV - Brolio

Given : CaricaGem:Defogliaz:Diradam:ESPOSIZ

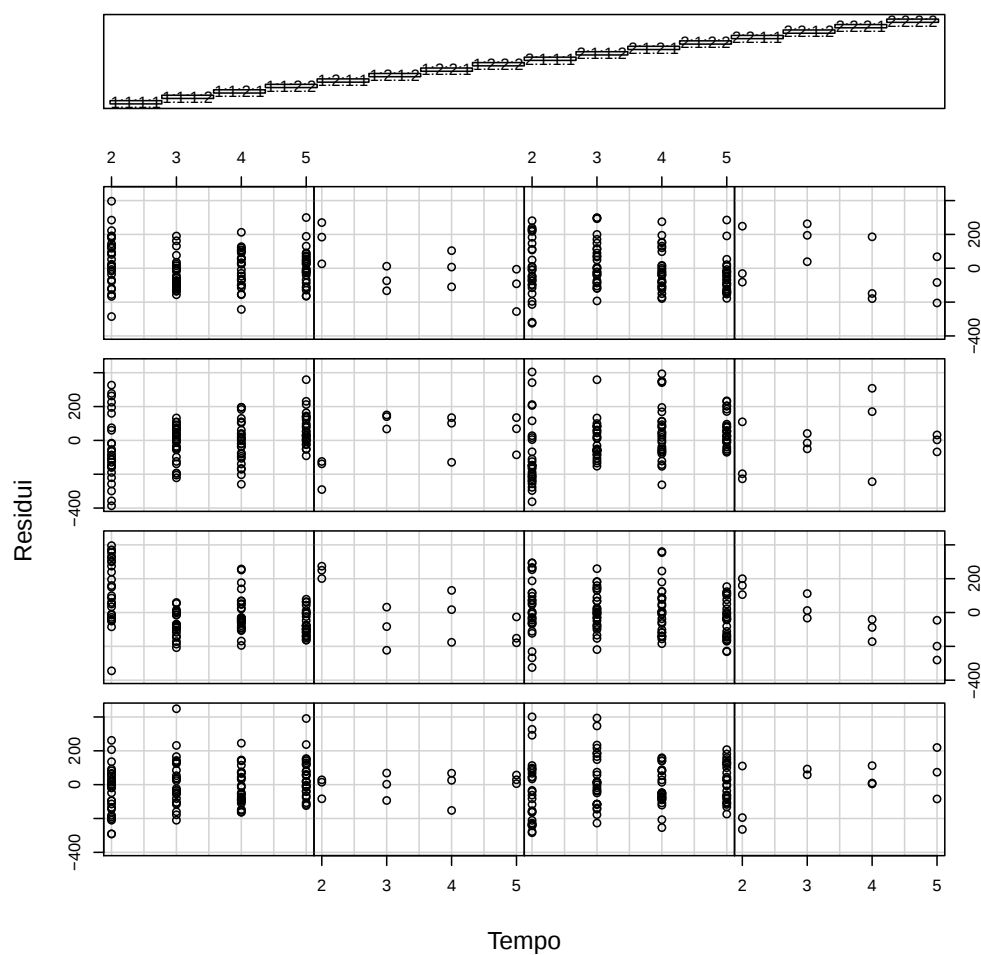


Figura 43: Conditioning Plot - Modello 0 - ANTHRUV - Brolio

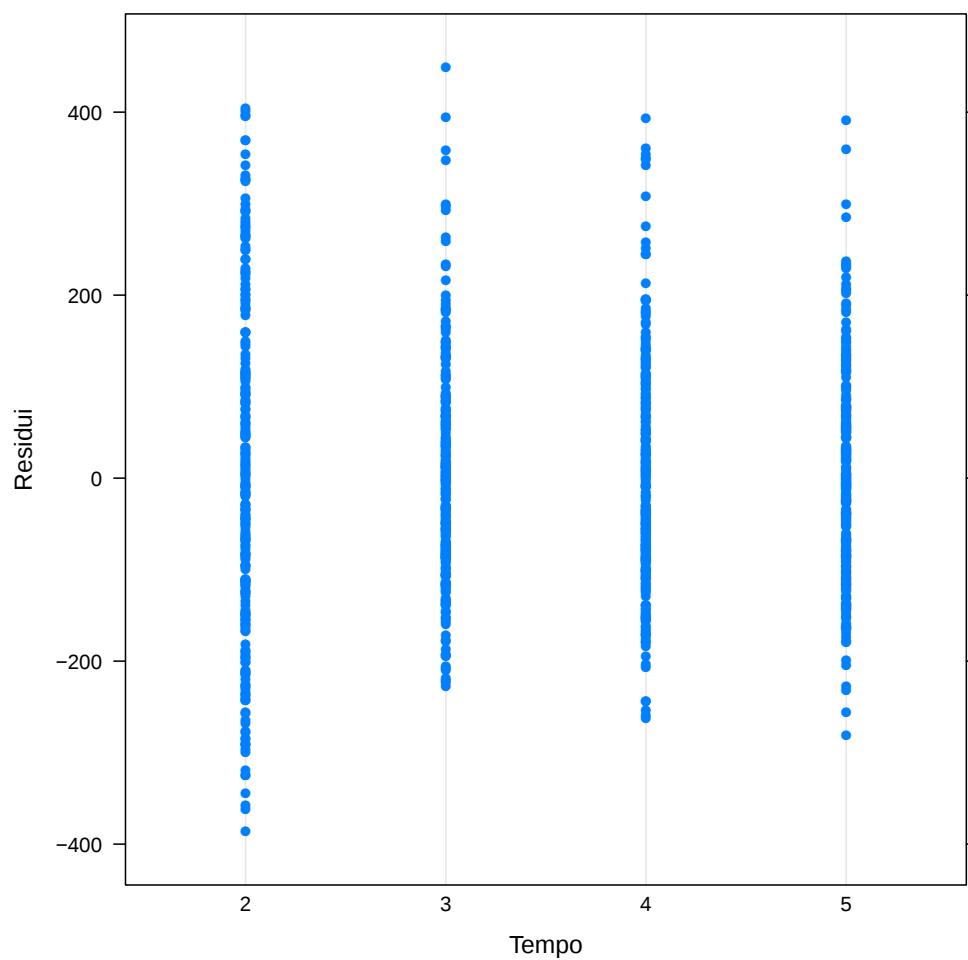


Figura 44: Analisi dei residui: Residui vs Tempo - Modello 0 - ANTHRUV
- Brolio

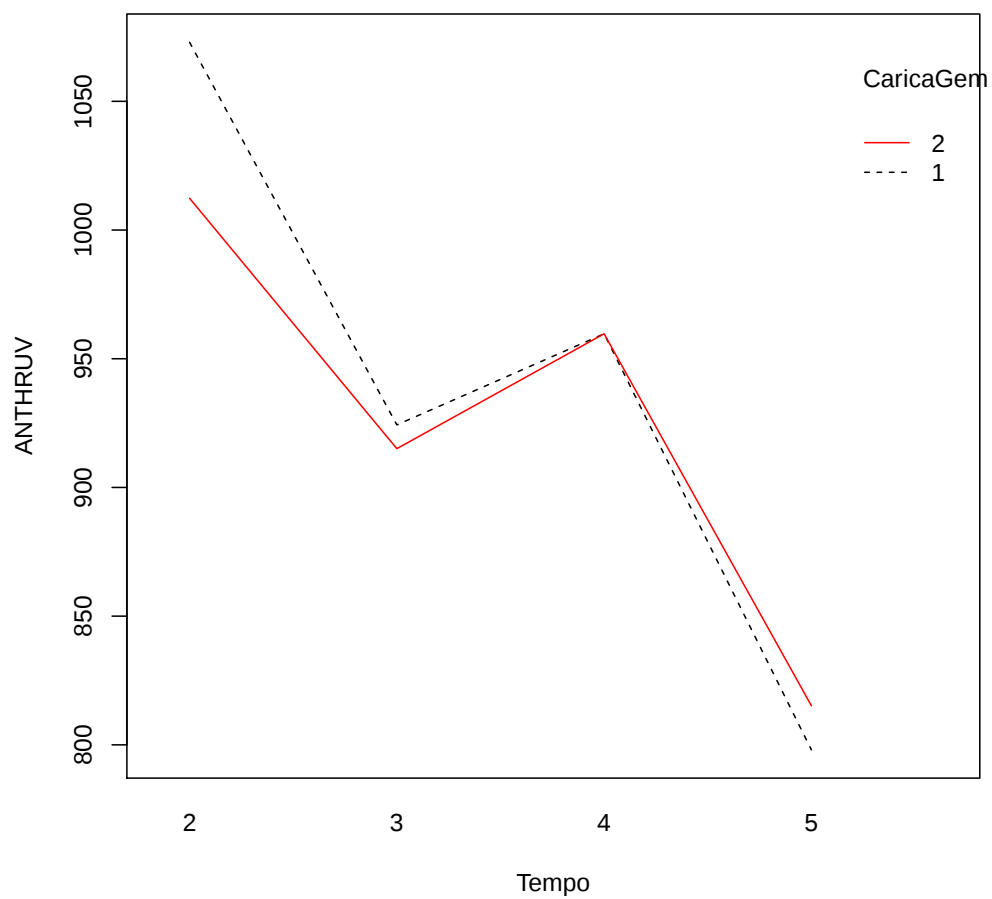


Figura 45: Interaction plot Tempo-Caricagemme - ANTHRUV - Brolio

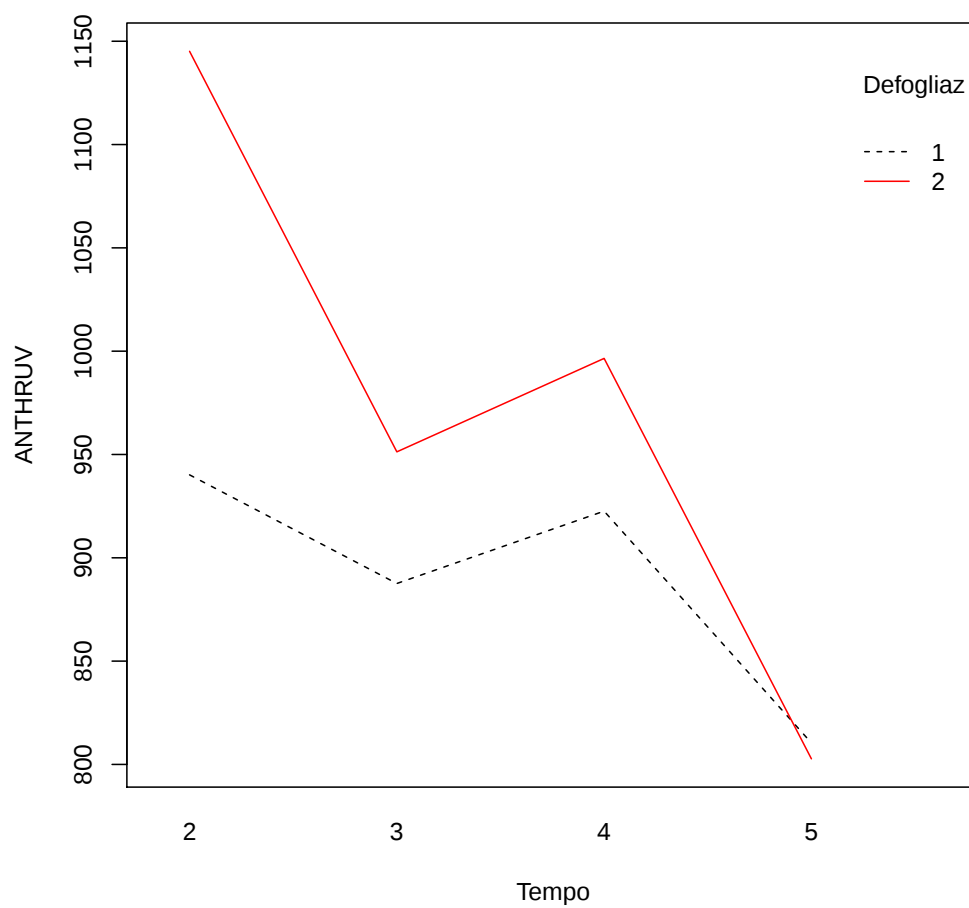


Figura 46: Interaction plot Tempo-Defogliazione - ANTHRUV - Brolio

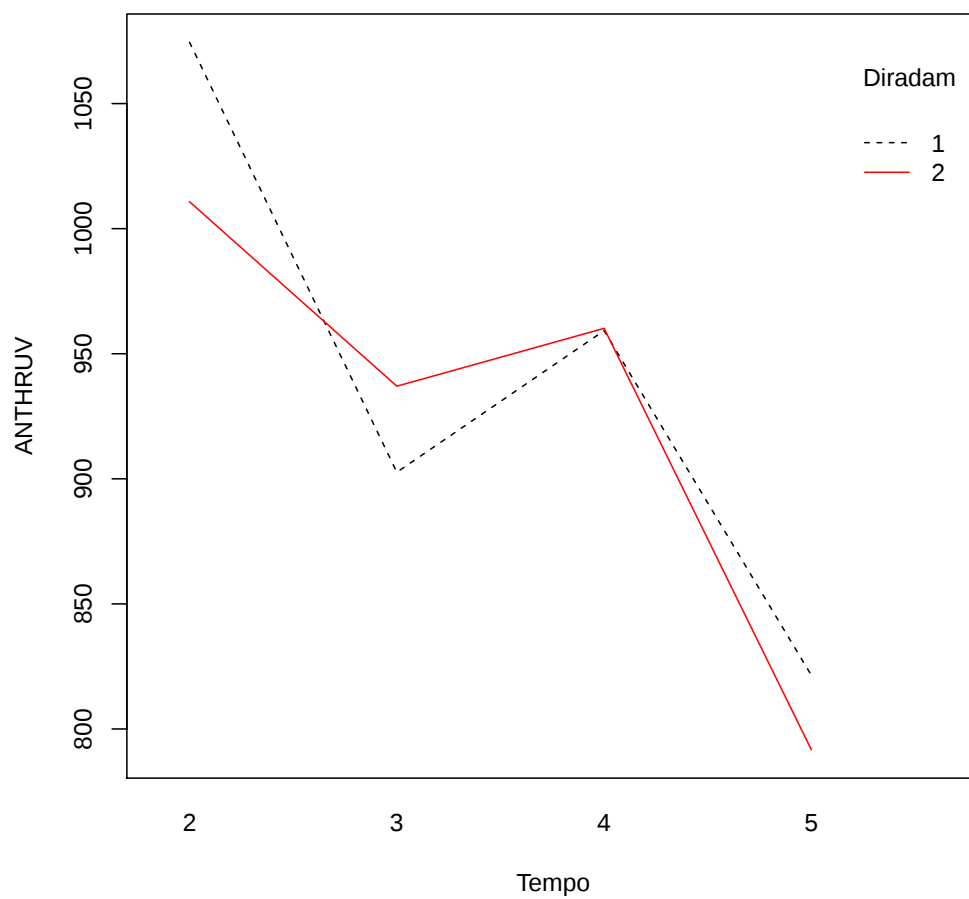


Figura 47: Interaction plot Tempo-Diradamento - ANTHRUV - Brolio

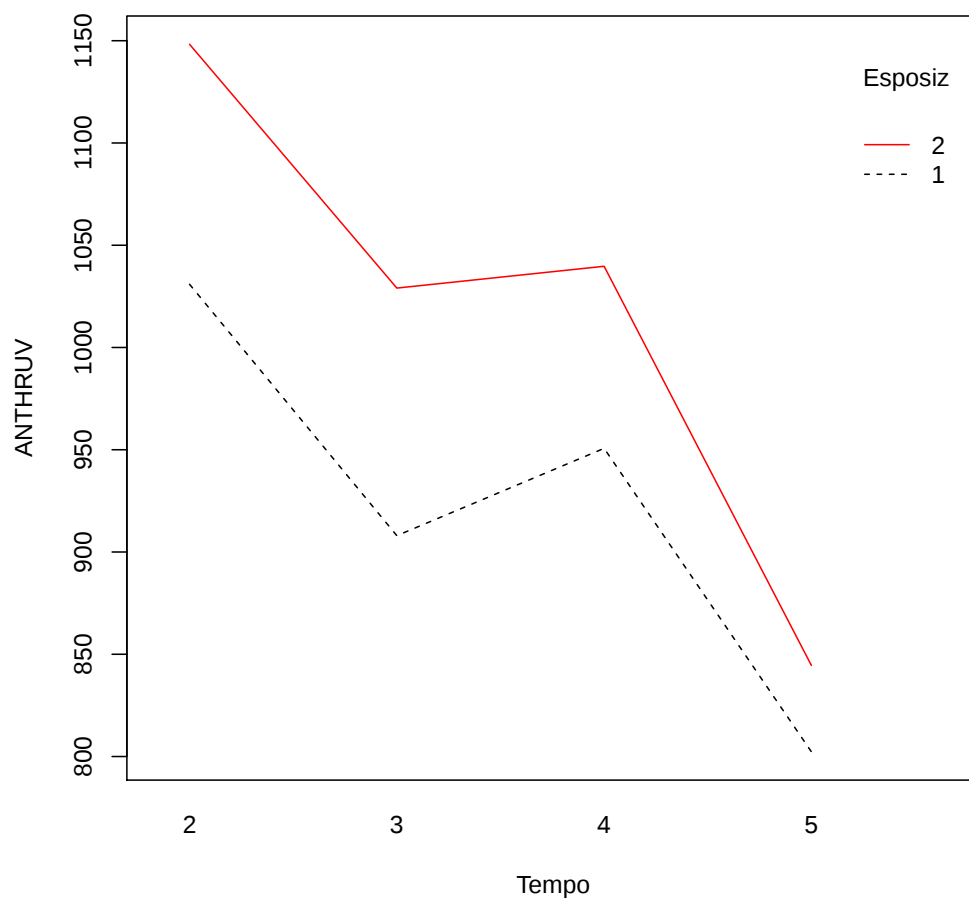


Figura 48: Interaction plot Tempo-Esposizione - ANTHRUV - Brolio

5.7 ANOVA per ANTHUV

Call:

```
lm(formula = ANTHUV ~ Tempo + CaricaGem + Defogliaz + Diradam +  
    ESPOSIZ + CaricaGem:Defogliaz + CaricaGem:Diradam + Defogliaz:Diradam +  
    Diradam:ESPOSIZ + CaricaGem:Defogliaz:Diradam, data = BRDF2)
```

Residuals:

Min	1Q	Median	3Q	Max
-999.59	-111.52	20.75	156.23	656.51

Coefficients:

	Estimate	Std. Error	t value
(Intercept)	2212.92	25.72	86.030
Tempo3	-30.92	21.76	-1.421
Tempo4	75.41	21.78	3.462
Tempo5	-28.07	21.76	-1.290
CaricaGem2	-199.42	30.84	-6.467
Defogliaz2	179.91	30.71	5.859
Diradam2	-23.07	31.23	-0.739
ESPOSIZ2	26.05	36.20	0.720
CaricaGem2:Defogliaz2	192.41	43.56	4.417
CaricaGem2:Diradam2	112.17	43.65	2.570
Defogliaz2:Diradam2	13.42	43.52	0.308
Diradam2:ESPOSIZ2	72.64	51.44	1.412
CaricaGem2:Defogliaz2:Diradam2	-135.73	61.64	-2.202

Pr(>|t|)

(Intercept)	< 2e-16 ***
Tempo3	0.15569
Tempo4	0.00056 ***
Tempo5	0.19731
CaricaGem2	1.60e-10 ***
Defogliaz2	6.43e-09 ***
Diradam2	0.46025
ESPOSIZ2	0.47190
CaricaGem2:Defogliaz2	1.12e-05 ***
CaricaGem2:Diradam2	0.01034 *

Defogliaz2:Diradam2	0.75789
Diradam2:ESP0SIZ2	0.15824
CaricaGem2:Defogliaz2:Diradam2	0.02791 *

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 237.8 on 940 degrees of freedom

Multiple R-squared: 0.2735, Adjusted R-squared: 0.2642

F-statistic: 29.49 on 12 and 940 DF, p-value: < 2.2e-16

Analysis of Variance Table

Response: ANTHUV

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value
Tempo	3	1755702	585234	10.3455
CaricaGem	1	1556796	1556796	27.5203
Defogliaz	1	14738385	14738385	260.5381
Diradam	1	37784	37784	0.6679
ESPOSIZ	1	326436	326436	5.7706
CaricaGem:Defogliaz	1	921436	921436	16.2887
CaricaGem:Diradam	1	117148	117148	2.0709
Defogliaz:Diradam	1	174457	174457	3.0840
Diradam:ESPOSIZ	1	113937	113937	2.0141
CaricaGem:Defogliaz:Diradam	1	274291	274291	4.8488
Residuals	940	53174884	56569	

Pr(>F)

Tempo	1.057e-06 ***
CaricaGem	1.921e-07 ***
Defogliaz	< 2.2e-16 ***
Diradam	0.41399
ESPOSIZ	0.01649 *
CaricaGem:Defogliaz	5.881e-05 ***
CaricaGem:Diradam	0.15047
Defogliaz:Diradam	0.07939 .
Diradam:ESPOSIZ	0.15617
CaricaGem:Defogliaz:Diradam	0.02791 *

Residuals

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

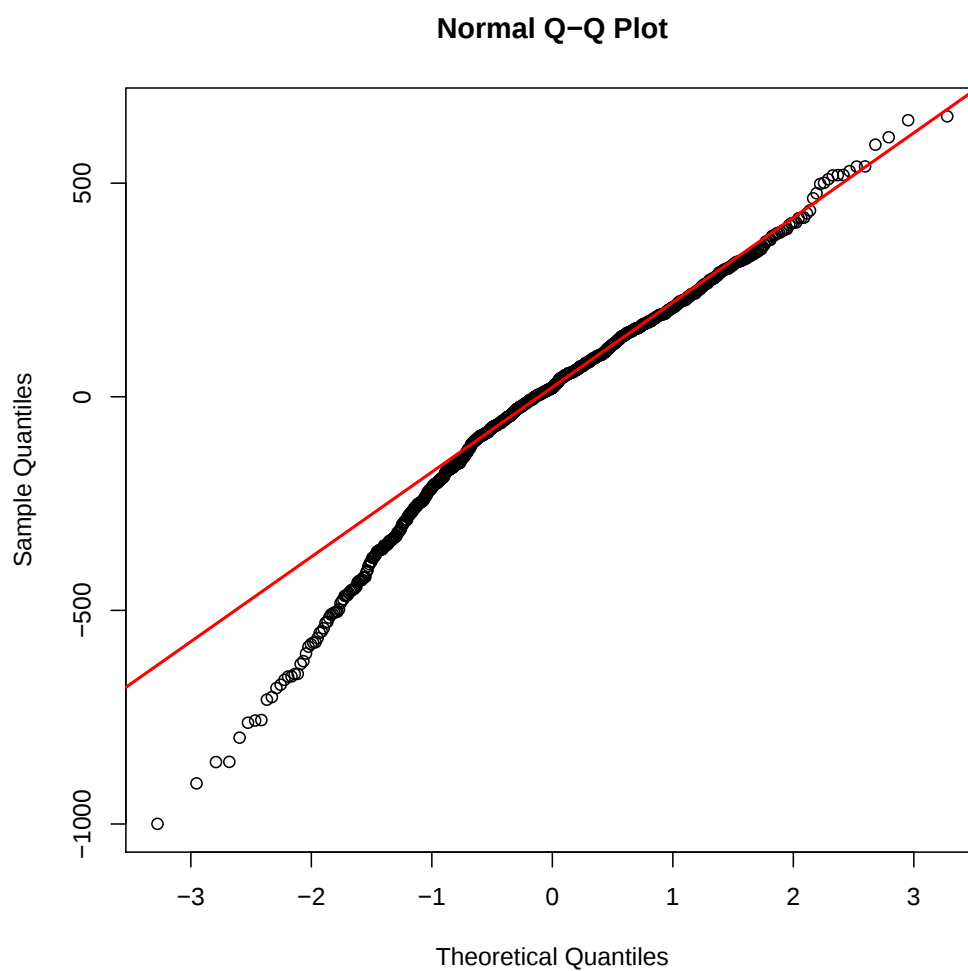


Figura 49: Analisi dei Residui: Q-Q Plot - Modello 0 - ANTHUV - Brolio

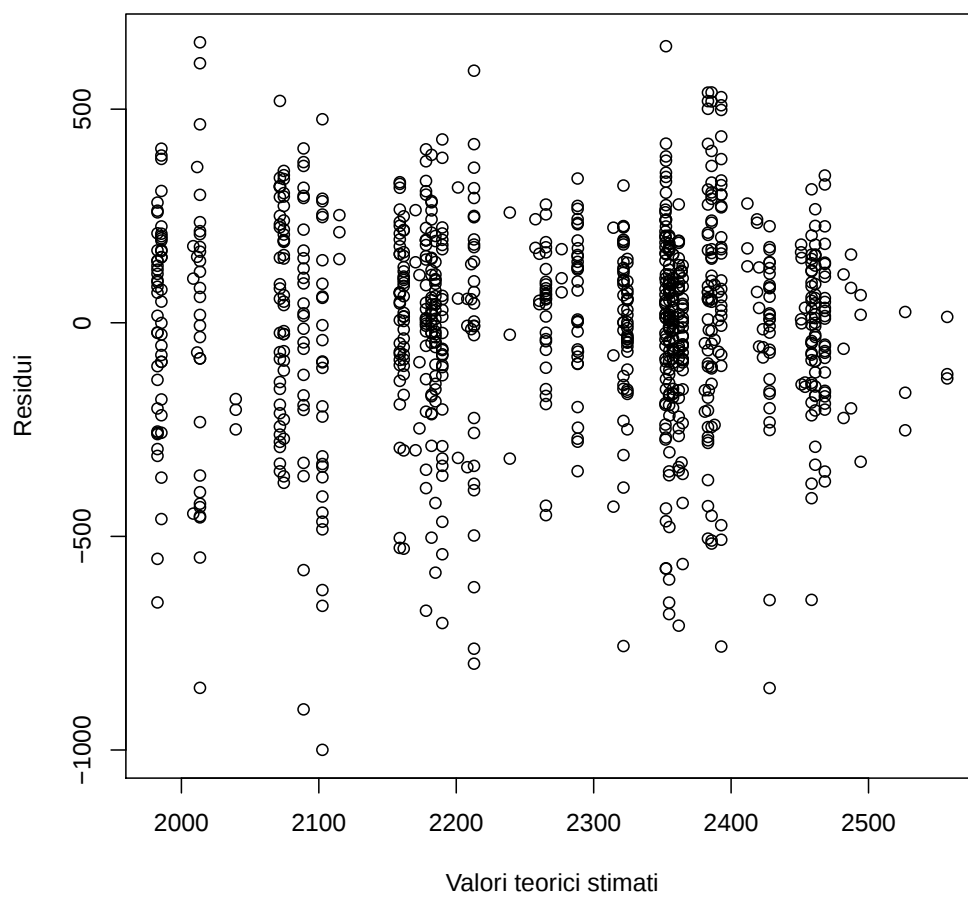


Figura 50: Analisi dei residui: Residui vs Valori teorici stimati - Modello 0 - ANTHUV - Brolio

Given : CaricaGem:Defogliaz:Diradam:ESPOSIZ

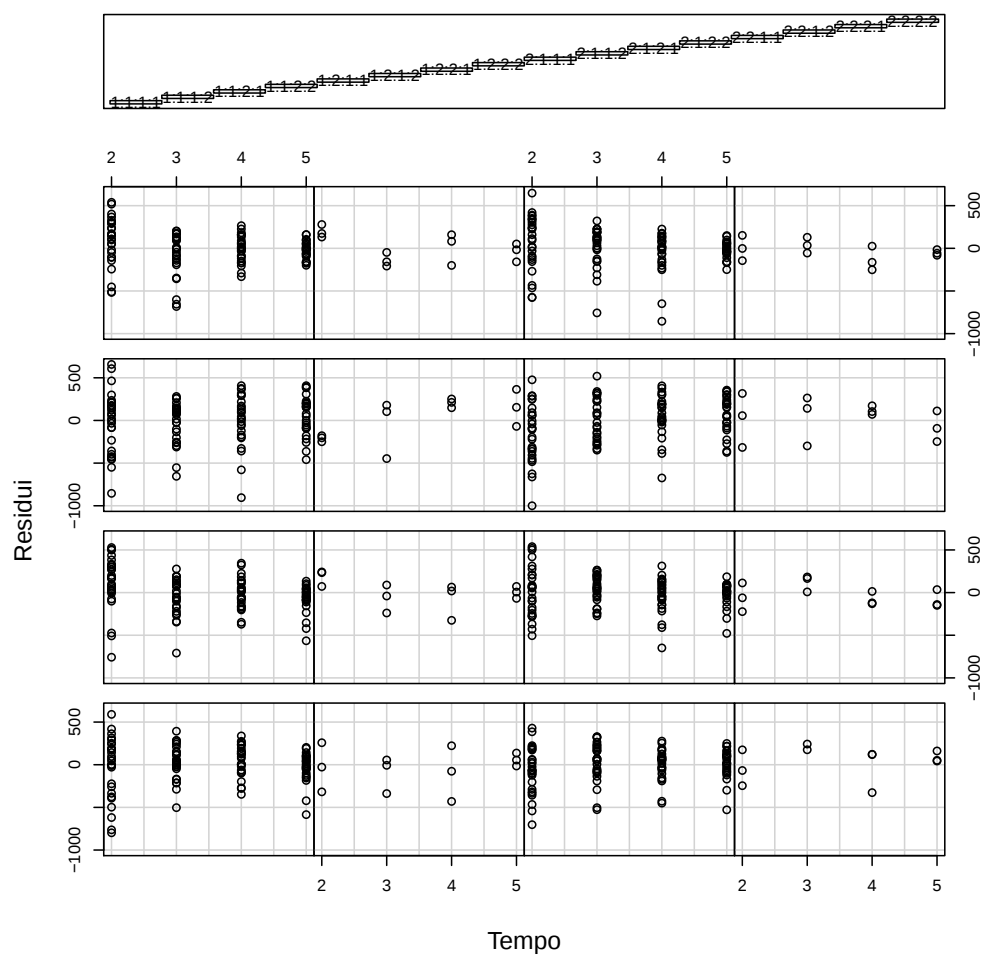


Figura 51: Conditioning Plot - Modello 0 - ANTHUV - Brolio

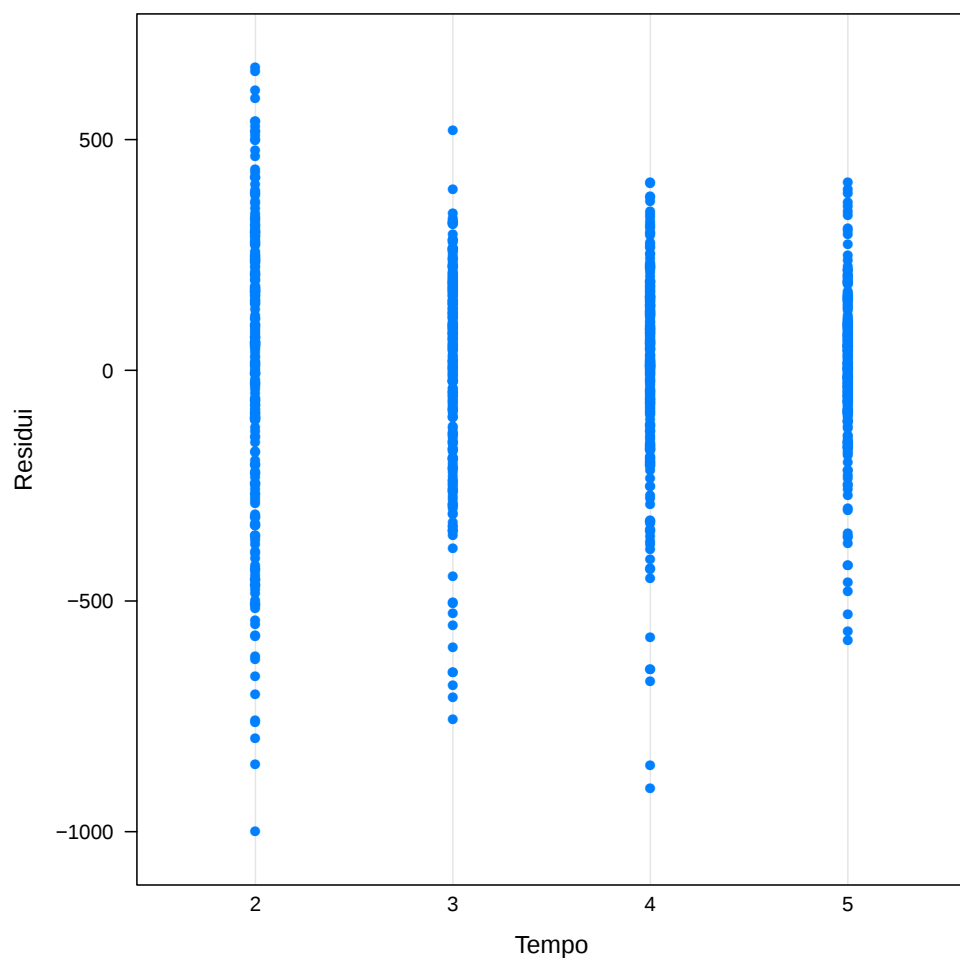


Figura 52: Analisi dei residui: Residui vs Tempo - Modello 0 - ANTHUV - Brolio

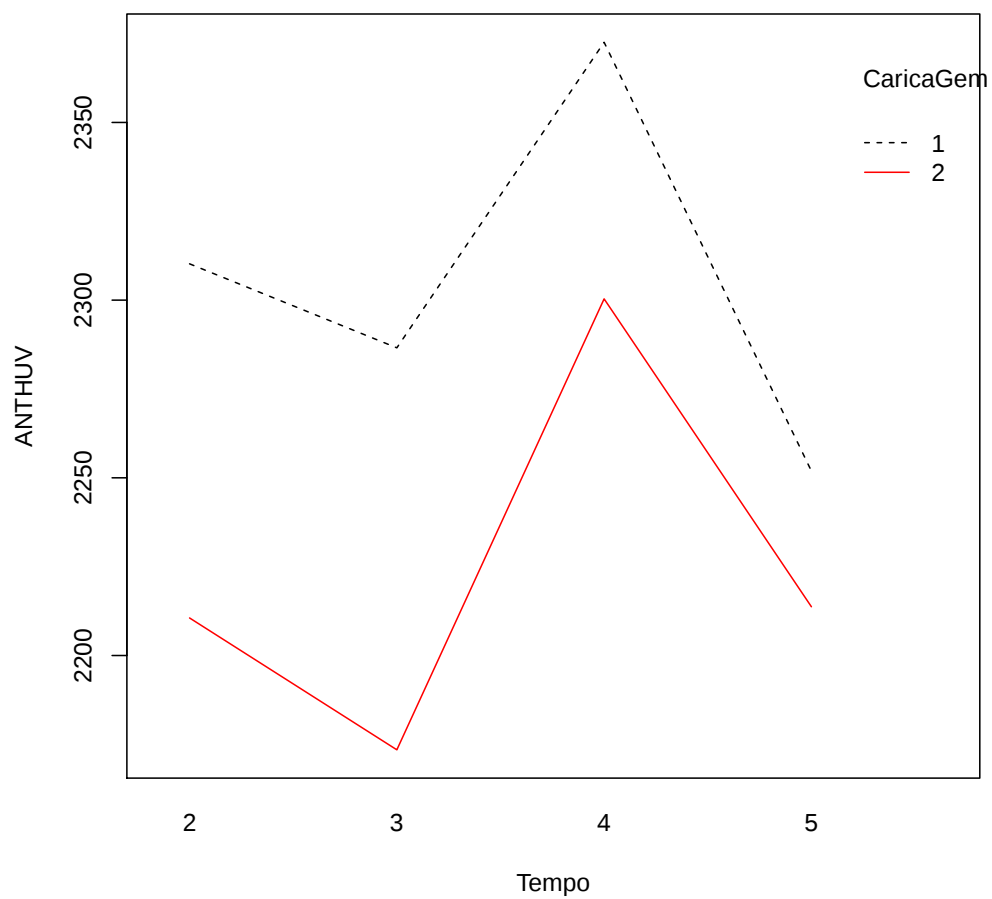


Figura 53: Interaction plot Tempo-Caricagemme - ANTHUV - Brolio

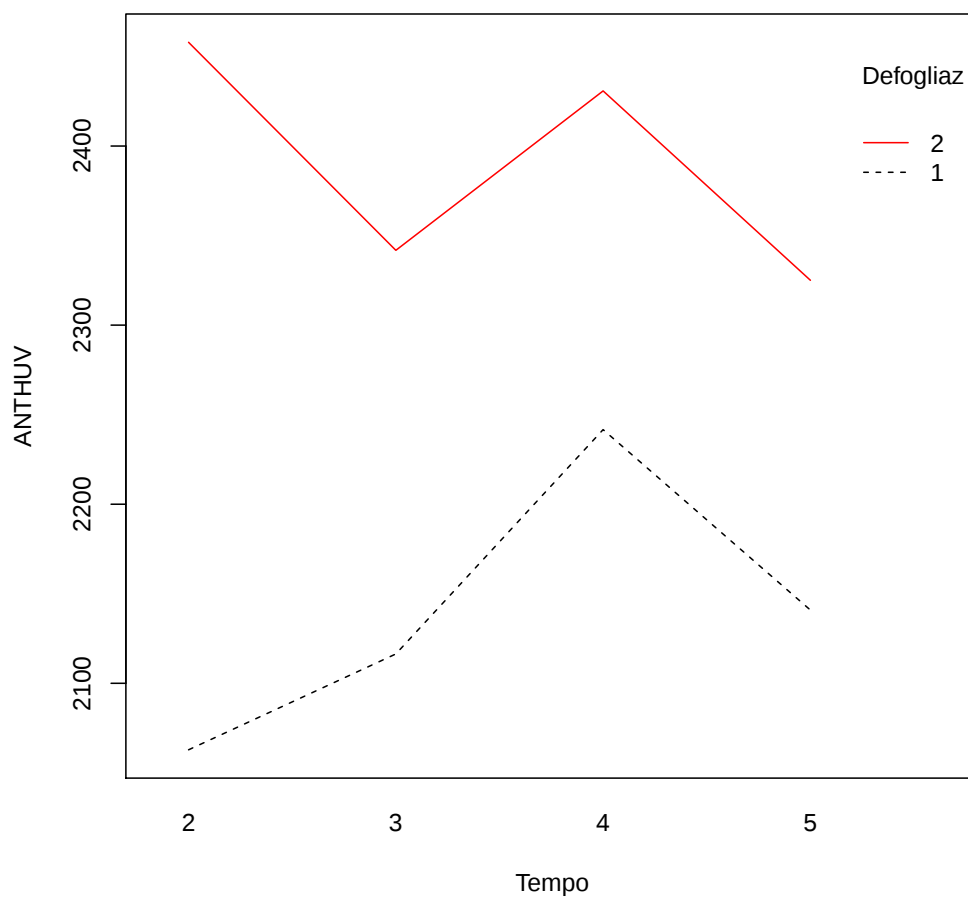


Figura 54: Interaction plot Tempo-Defogliazione - ANTHUV - Brolio

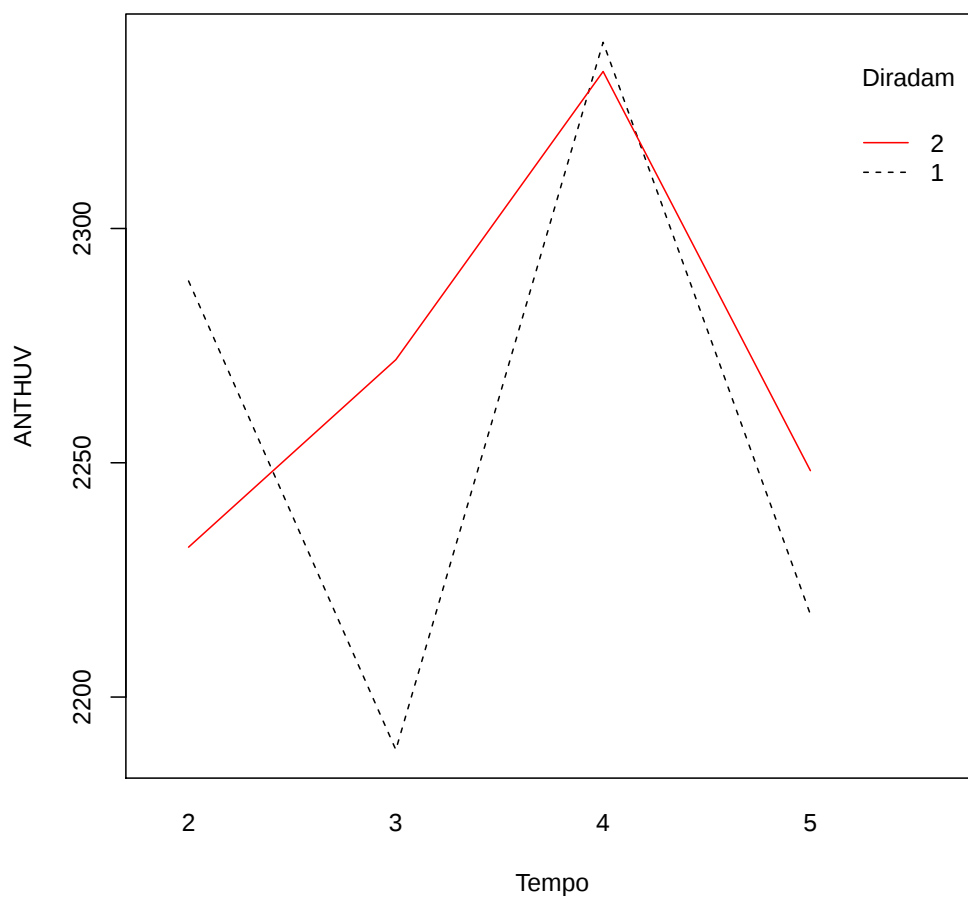


Figura 55: Interaction plot Tempo-Diradamento - ANTHUV - Brolio

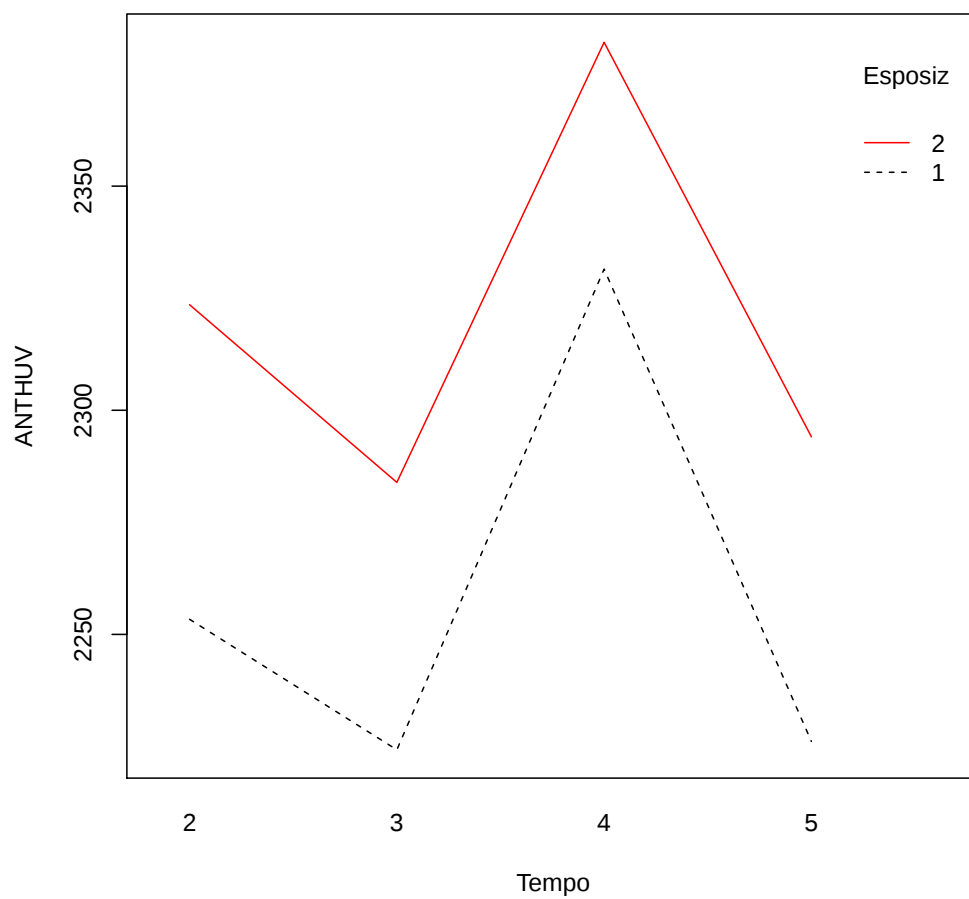


Figura 56: Interaction plot Tempo-Esposizione - ANTHUV - Brolio

5.8 ANOVA per ANTHG

Call:

```
lm(formula = ANTHG ~ Tempo + CaricaGem + Defogliaz + Diradam +  
    ESPOSIZ + CaricaGem:Defogliaz + CaricaGem:Diradam + Defogliaz:Diradam +  
    CaricaGem:ESPOSIZ + Defogliaz:ESPOSIZ + CaricaGem:Defogliaz:Diradam +  
    CaricaGem:Defogliaz:ESPOSIZ, data = BRDF2)
```

Residuals:

Min	1Q	Median	3Q	Max
-1049.48	-114.16	28.93	140.37	483.17

Coefficients:

	Estimate	Std. Error	t value
(Intercept)	2430.83	23.04	105.519
Tempo3	151.57	19.27	7.864
Tempo4	133.79	19.29	6.934
Tempo5	132.56	19.27	6.878
CaricaGem2	-153.89	28.08	-5.479
Defogliaz2	95.68	27.96	3.422
Diradam2	-17.36	27.32	-0.635
ESPOSIZ2	-56.14	46.23	-1.214
CaricaGem2:Defogliaz2	157.43	39.66	3.969
CaricaGem2:Diradam2	92.85	38.67	2.401
Defogliaz2:Diradam2	26.87	38.55	0.697
CaricaGem2:ESPOSIZ2	114.30	64.77	1.765
Defogliaz2:ESPOSIZ2	49.14	64.75	0.759
CaricaGem2:Defogliaz2:Diradam2	-82.60	54.60	-1.513
CaricaGem2:Defogliaz2:ESPOSIZ2	-195.09	91.14	-2.141

	Pr(> t)
(Intercept)	< 2e-16 ***
Tempo3	1.02e-14 ***
Tempo4	7.60e-12 ***
Tempo5	1.11e-11 ***
CaricaGem2	5.49e-08 ***
Defogliaz2	0.000648 ***
Diradam2	0.525326

ESPOSIZ2	0.224896
CaricaGem2:Defogliaz2	7.76e-05 ***
CaricaGem2:Diradam2	0.016536 *
Defogliaz2:Diradam2	0.485895
CaricaGem2:ESPOSIZ2	0.077944 .
Defogliaz2:ESPOSIZ2	0.448070
CaricaGem2:Defogliaz2:Diradam2	0.130668
CaricaGem2:Defogliaz2:ESPOSIZ2	0.032570 *

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 210.7 on 938 degrees of freedom

Multiple R-squared: 0.2179, Adjusted R-squared: 0.2063

F-statistic: 18.67 on 14 and 938 DF, p-value: < 2.2e-16

Analysis of Variance Table

Response: ANTHG

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value
Tempo	3	3568623	1189541	26.7980
CaricaGem	1	544047	544047	12.2563
Defogliaz	1	6245012	6245012	140.6878
Diradam	1	112250	112250	2.5288
ESPOSIZ	1	45219	45219	1.0187
CaricaGem:Defogliaz	1	556112	556112	12.5281
CaricaGem:Diradam	1	156695	156695	3.5300
Defogliaz:Diradam	1	12310	12310	0.2773
CaricaGem:ESPOSIZ	1	5494	5494	0.1238
Defogliaz:ESPOSIZ	1	52347	52347	1.1793
CaricaGem:Defogliaz:Diradam	1	100655	100655	2.2676
CaricaGem:Defogliaz:ESPOSIZ	1	203383	203383	4.5818
Residuals	938	41637036	44389	

Pr(>F)

Tempo	< 2.2e-16 ***
CaricaGem	0.0004855 ***
Defogliaz	< 2.2e-16 ***
Diradam	0.1121247
ESPOSIZ	0.3130874
CaricaGem:Defogliaz	0.0004206 ***
CaricaGem:Diradam	0.0605764 .
Defogliaz:Diradam	0.5985872
CaricaGem:ESPOSIZ	0.7250559
Defogliaz:ESPOSIZ	0.2777823
CaricaGem:Defogliaz:Diradam	0.1324440
CaricaGem:Defogliaz:ESPOSIZ	0.0325704 *
Residuals	

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

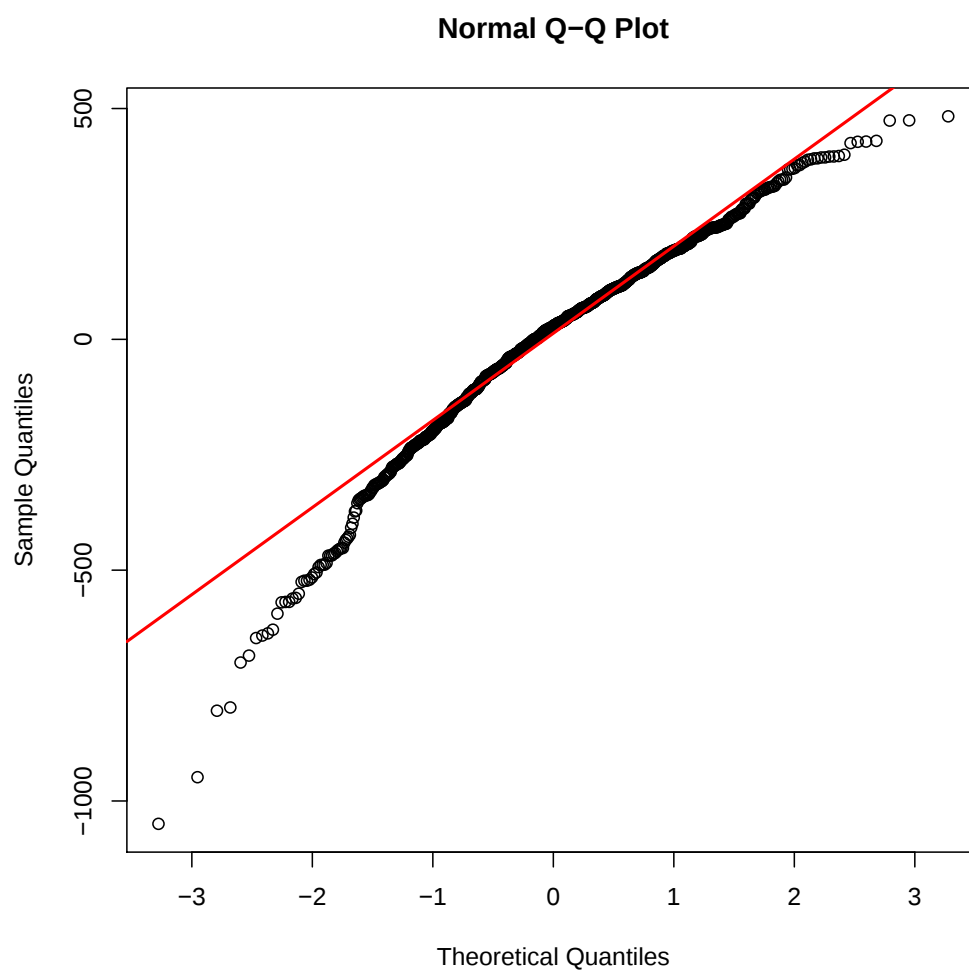


Figura 57: Analisi dei Residui: Q-Q Plot - Modello 0 - ANTHG - Brolio

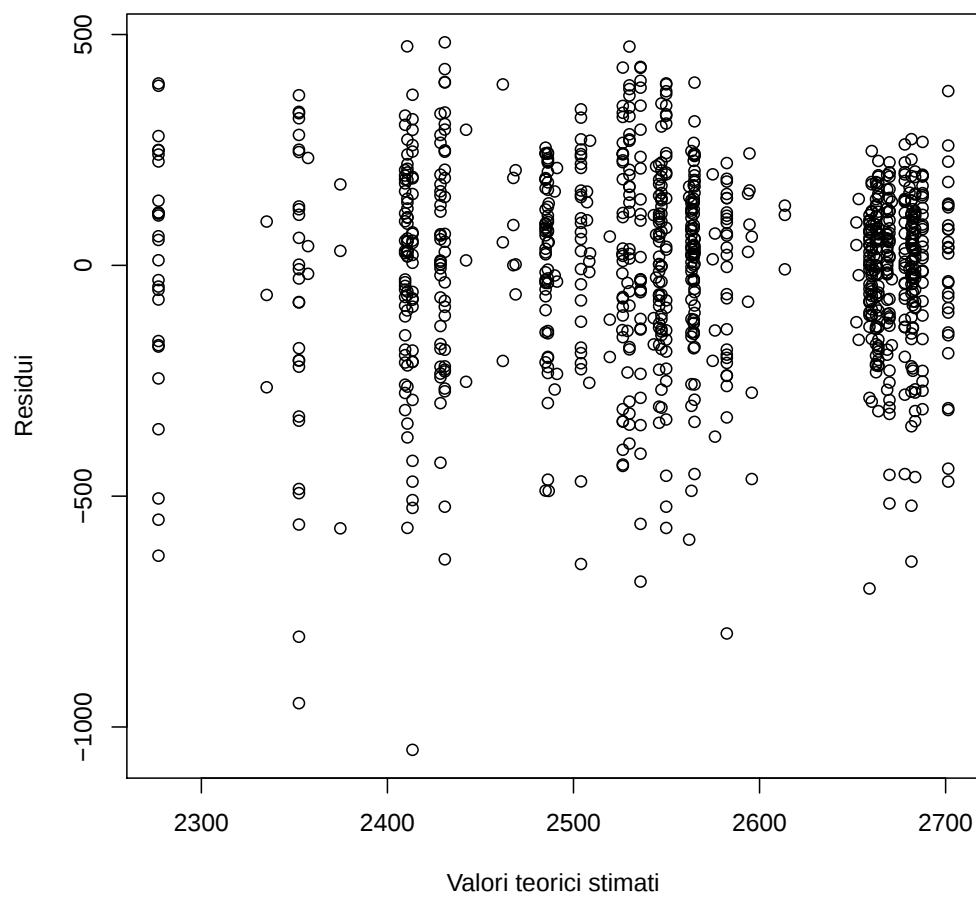


Figura 58: Analisi dei residui: Residui vs Valori teorici stimati - Modello 0 - ANTHG - Brolio

Given : CaricaGem:Defogliaz:Diradam:ESPOSIZ

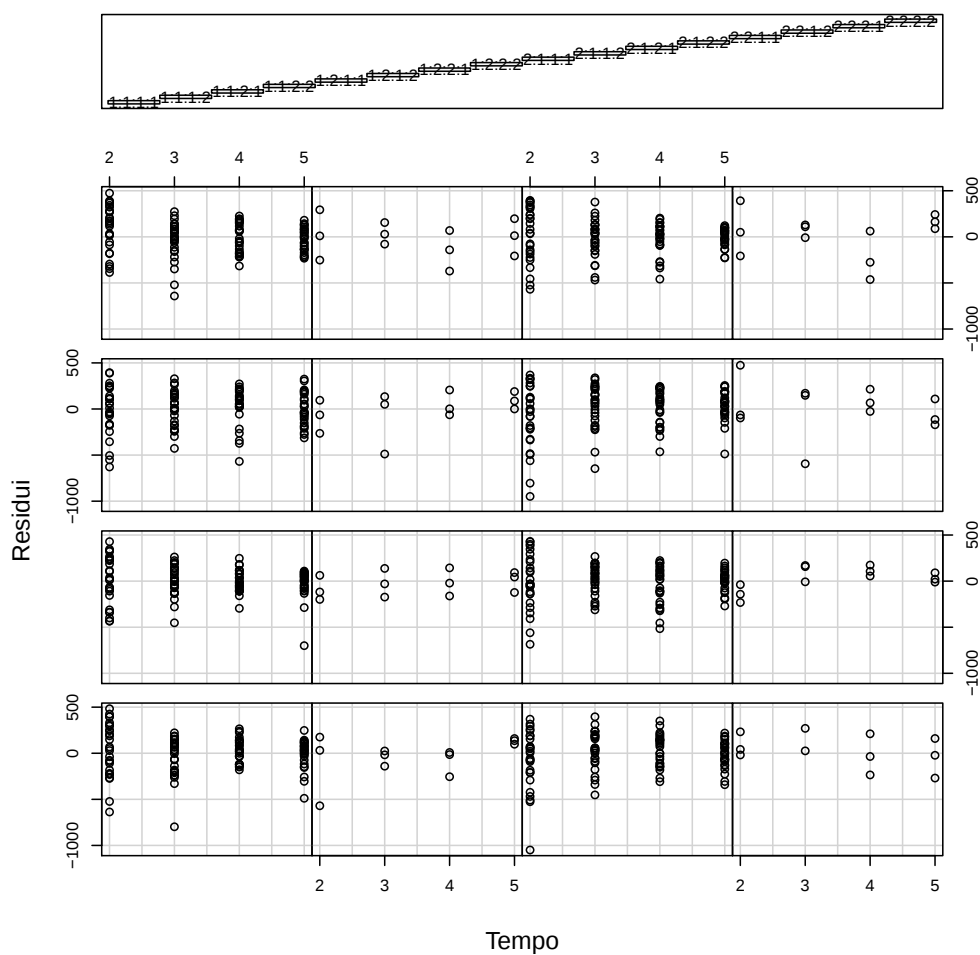


Figura 59: Conditioning Plot - Modello 0 - ANTHG - Brolio

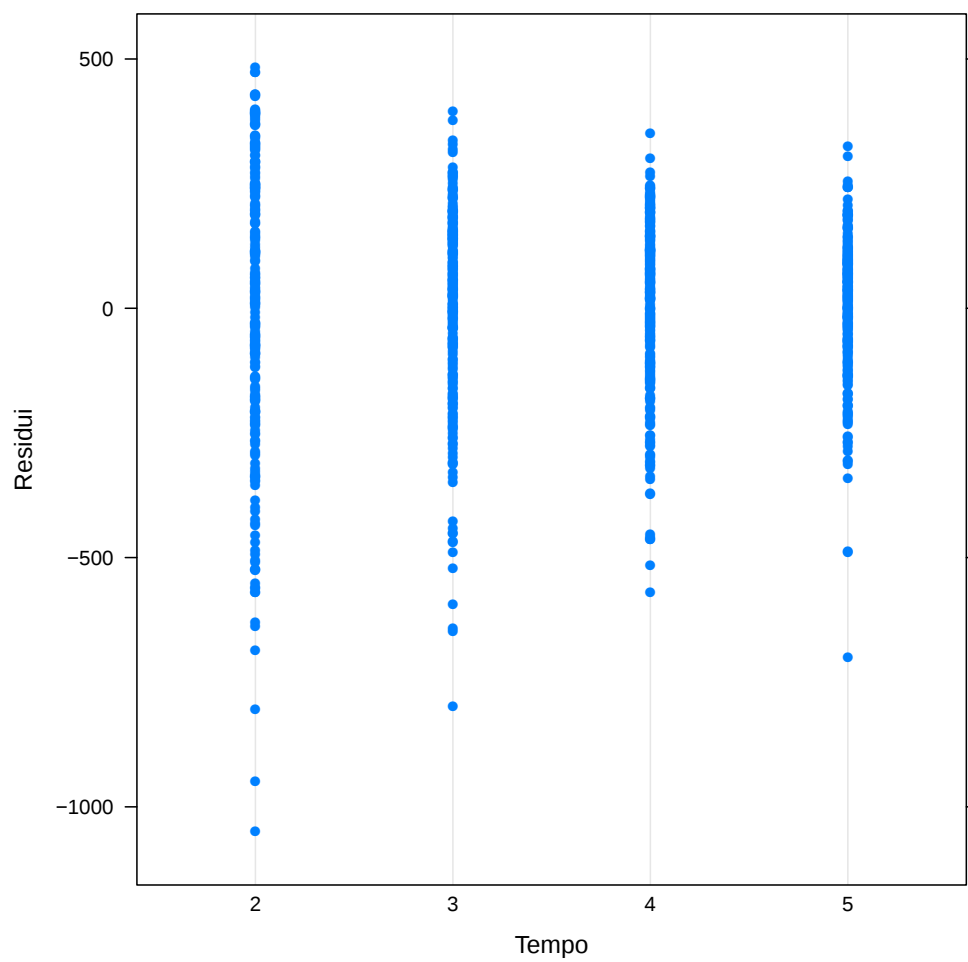


Figura 60: Analisi dei residui: Residui vs Tempo - Modello 0 - ANTHG - Brolio

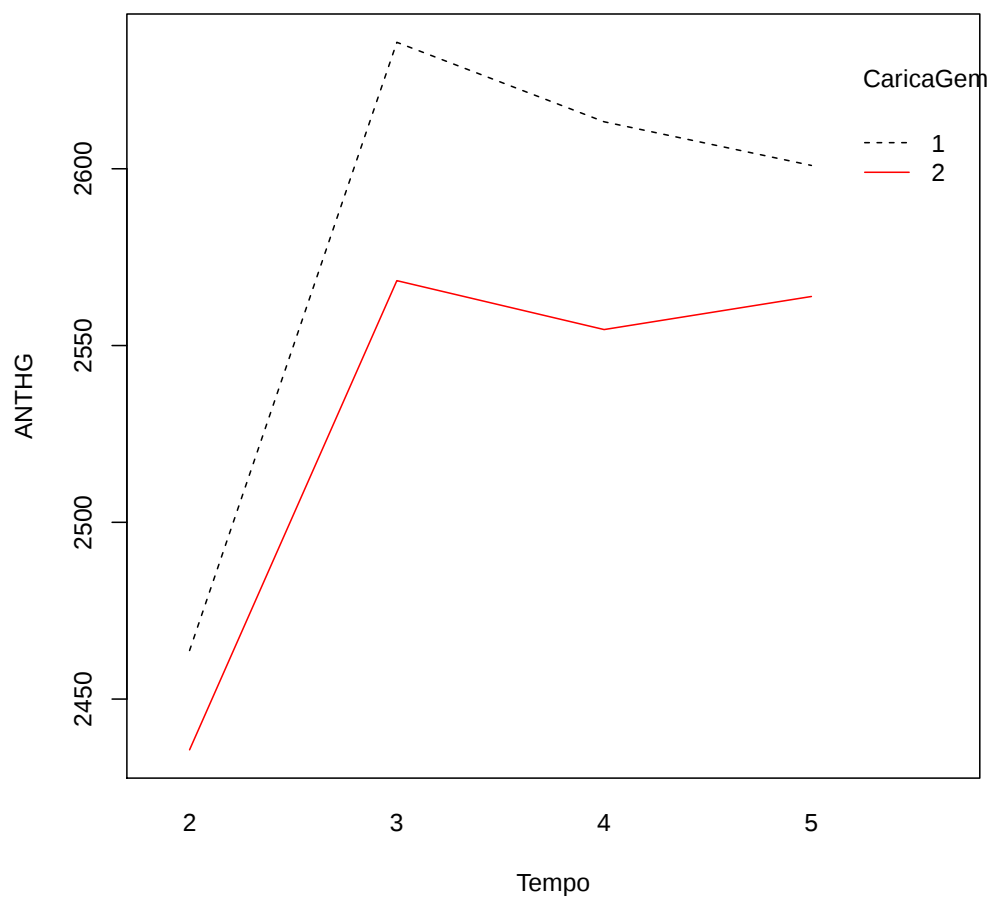


Figura 61: Interaction plot Tempo-Caricagemme - ANTHG - Brolio

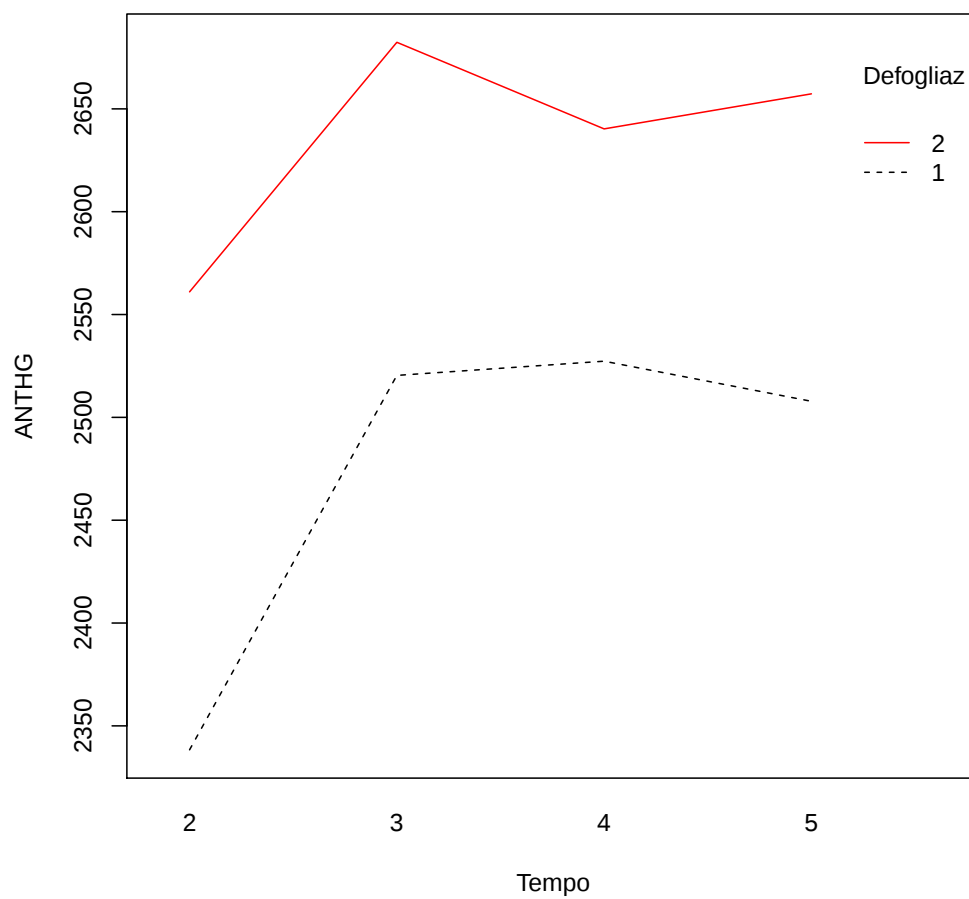


Figura 62: Interaction plot Tempo-Defogliazione - ANTHG - Brolio

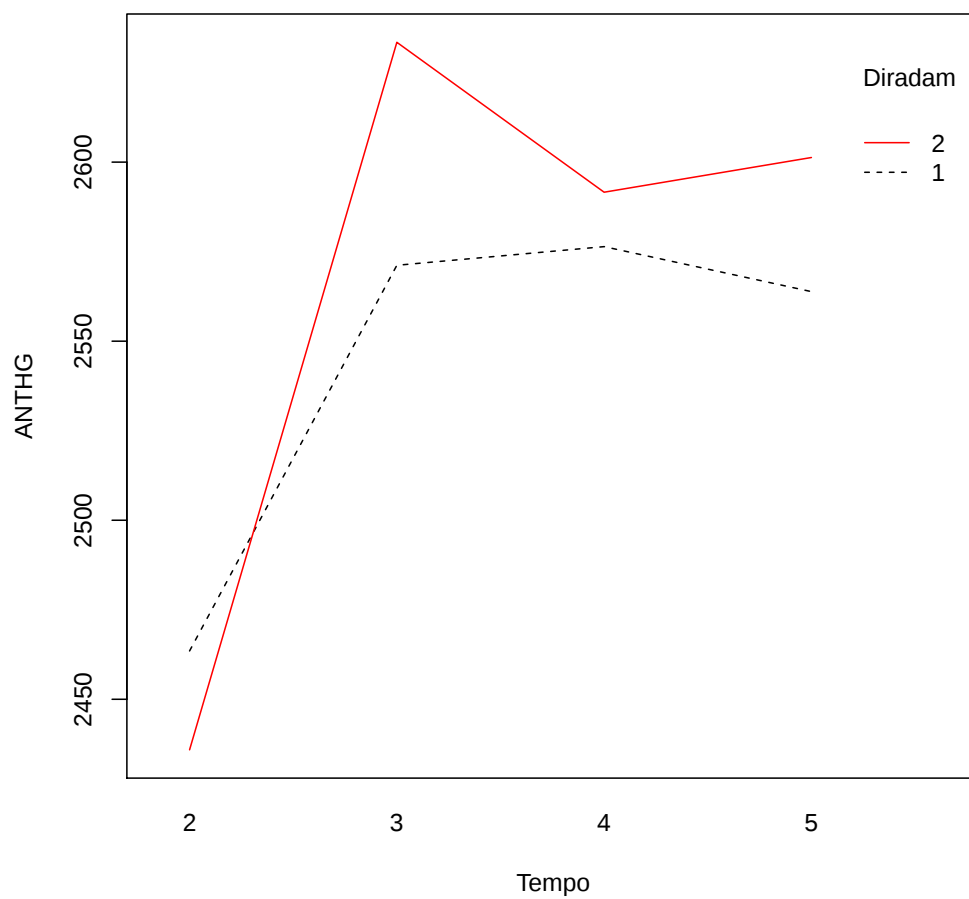


Figura 63: Interaction plot Tempo-Diradamento - ANTHG - Brolio

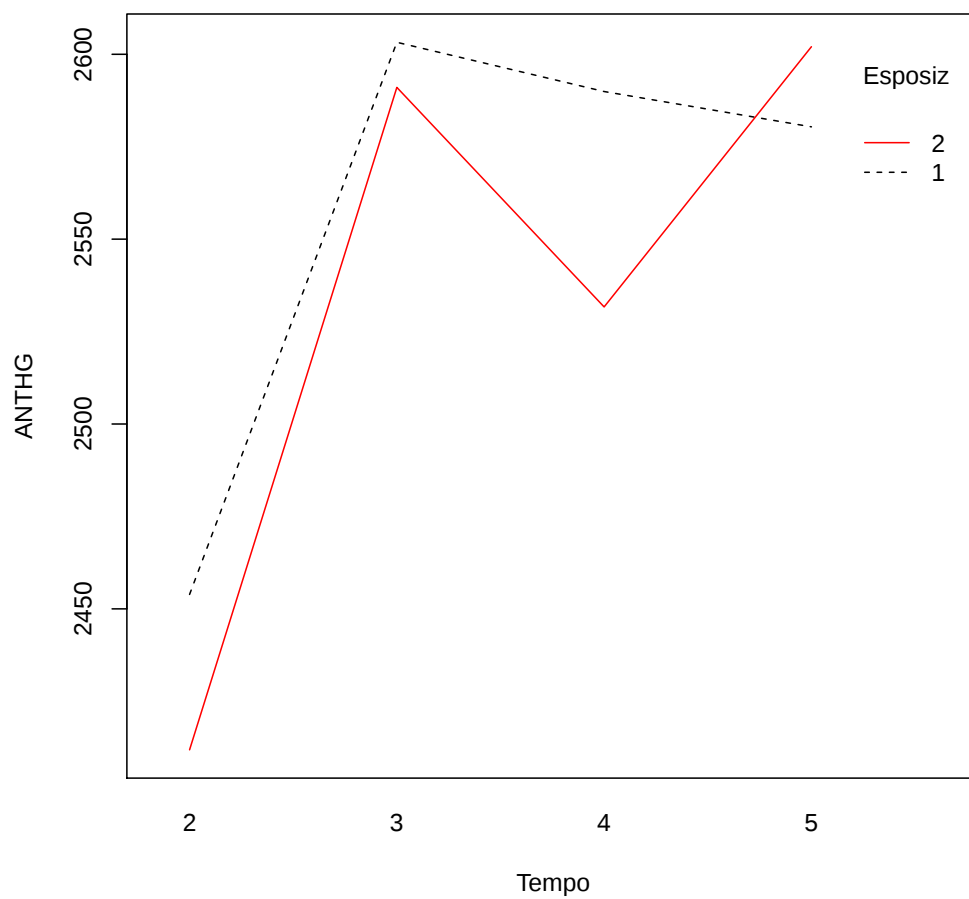


Figura 64: Interaction plot Tempo-Esposizione - ANTHG - Brolio

5.9 ANOVA per ANTHBG

Call:

```
lm(formula = ANTHBG ~ Tempo + CaricaGem + Defogliaz + Diradam +  
    ESPOSIZ + CaricaGem:Defogliaz + CaricaGem:Diradam + Defogliaz:Diradam +  
    Defogliaz:ESPOSIZ + CaricaGem:Defogliaz:Diradam, data = BRDF2)
```

Residuals:

Min	1Q	Median	3Q	Max
-304.690	-64.920	1.769	65.828	272.425

Coefficients:

	Estimate	Std. Error	t value
(Intercept)	852.971	9.918	86.000
Tempo3	-24.050	8.387	-2.868
Tempo4	-77.464	8.395	-9.227
Tempo5	-149.518	8.387	-17.828
CaricaGem2	66.644	11.886	5.607
Defogliaz2	-20.428	12.000	-1.702
Diradam2	4.719	11.886	0.397
ESPOSIZ2	-33.540	14.089	-2.381
CaricaGem2:Defogliaz2	-68.492	16.791	-4.079
CaricaGem2:Diradam2	-37.490	16.826	-2.228
Defogliaz2:Diradam2	-13.869	16.773	-0.827
Defogliaz2:ESPOSIZ2	30.610	19.828	1.544
CaricaGem2:Defogliaz2:Diradam2	38.984	23.758	1.641

Pr(>|t|)

(Intercept)	< 2e-16 ***
Tempo3	0.00423 **
Tempo4	< 2e-16 ***
Tempo5	< 2e-16 ***
CaricaGem2	2.70e-08 ***
Defogliaz2	0.08904 .
Diradam2	0.69141
ESPOSIZ2	0.01748 *
CaricaGem2:Defogliaz2	4.90e-05 ***
CaricaGem2:Diradam2	0.02611 *

Defogliaz2:Diradam2 0.40852

Defogliaz2:ESP0SIZ2 0.12297

CaricaGem2:Defogliaz2:Diradam2 0.10116

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 91.68 on 940 degrees of freedom

Multiple R-squared: 0.3422, Adjusted R-squared: 0.3338

F-statistic: 40.75 on 12 and 940 DF, p-value: < 2.2e-16

Analysis of Variance Table

Response: ANTHBG

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value
Tempo	3	3152455	1050818	125.0305
CaricaGem	1	128999	128999	15.3488
Defogliaz	1	565438	565438	67.2780
Diradam	1	29068	29068	3.4586
ESPOSIZ	1	27765	27765	3.3035
CaricaGem:Defogliaz	1	142637	142637	16.9715
CaricaGem:Diradam	1	19270	19270	2.2928
Defogliaz:Diradam	1	1803	1803	0.2145
Defogliaz:ESPOSIZ	1	20137	20137	2.3960
CaricaGem:Defogliaz:Diradam	1	22628	22628	2.6924
Residuals	940	7900229	8404	

Pr(>F)

Tempo	< 2.2e-16 ***
CaricaGem	9.585e-05 ***
Defogliaz	7.702e-16 ***
Diradam	0.06323 .
ESPOSIZ	0.06945 .
CaricaGem:Defogliaz	4.129e-05 ***
CaricaGem:Diradam	0.13031
Defogliaz:Diradam	0.64336
Defogliaz:ESPOSIZ	0.12198
CaricaGem:Defogliaz:Diradam	0.10116

Residuals

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

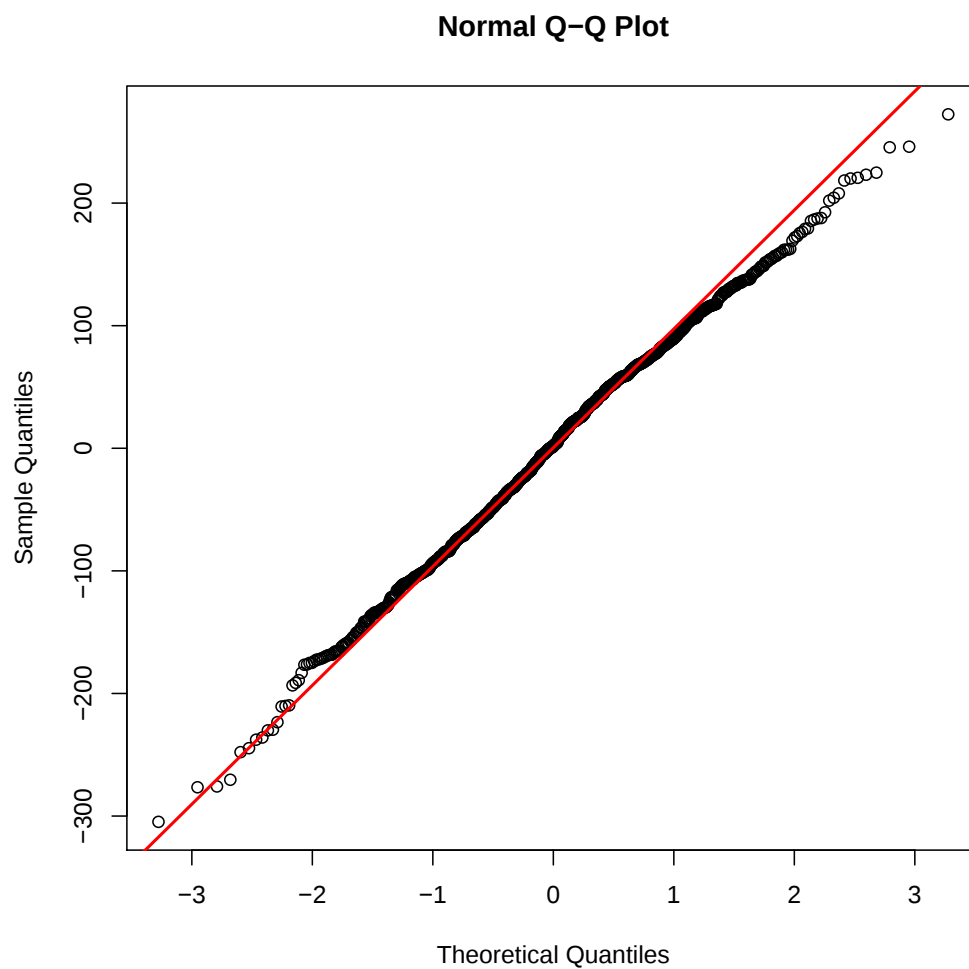


Figura 65: Analisi dei Residui: Q-Q Plot - Modello 0 - ANTHBG - Brolio

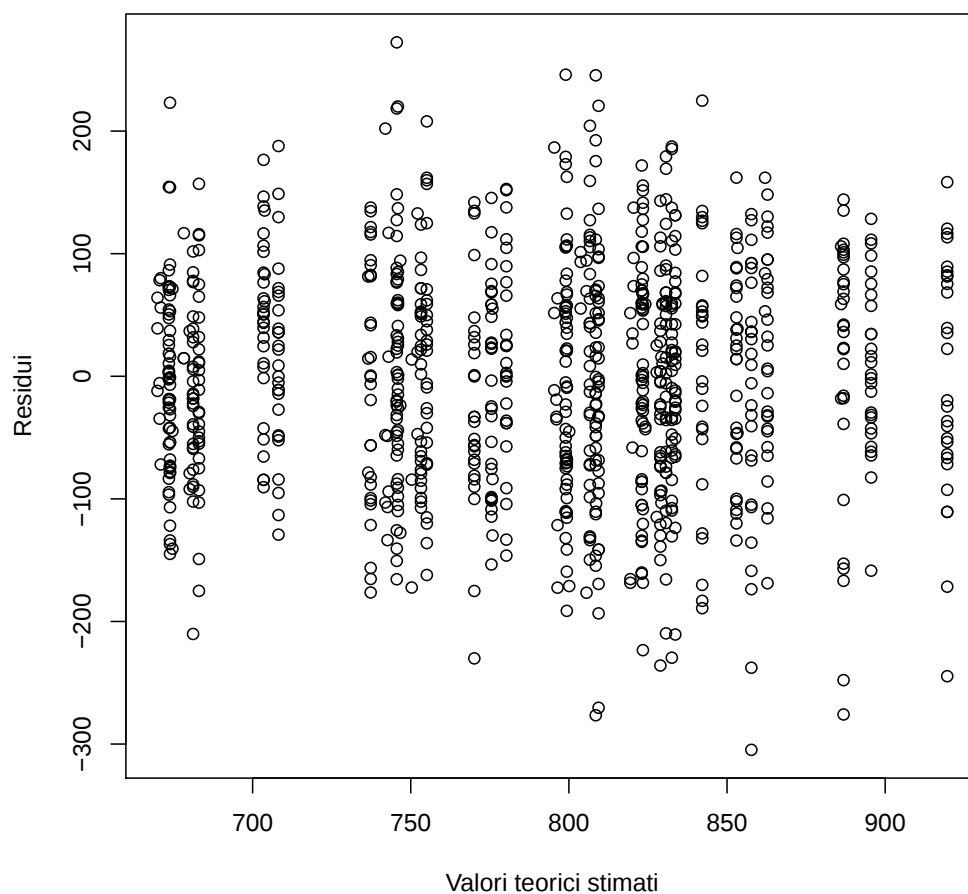


Figura 66: Analisi dei residui: Residui vs Valori teorici stimati - Modello 0 - ANTHBG - Brolio

Given : CaricaGem:Defogliaz:Diradam:ESPOSIZ

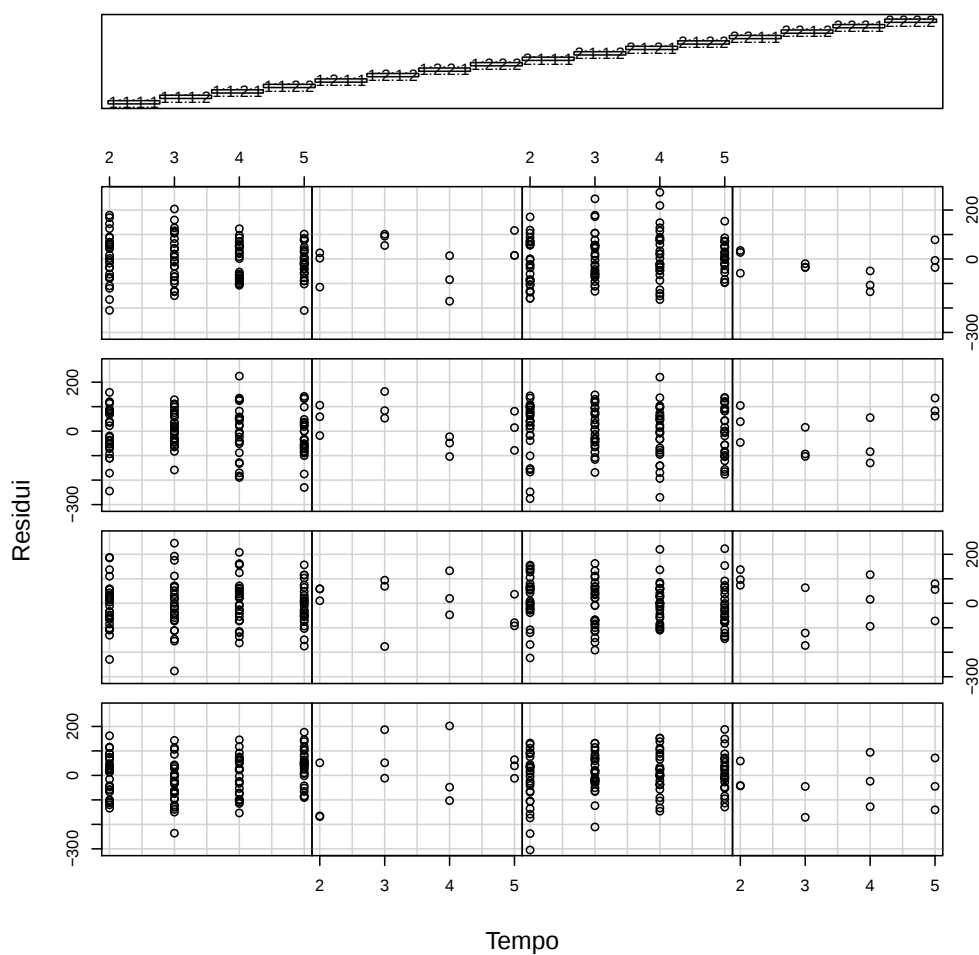


Figura 67: Conditioning Plot - Modello 0 - ANTHBG - Brolio

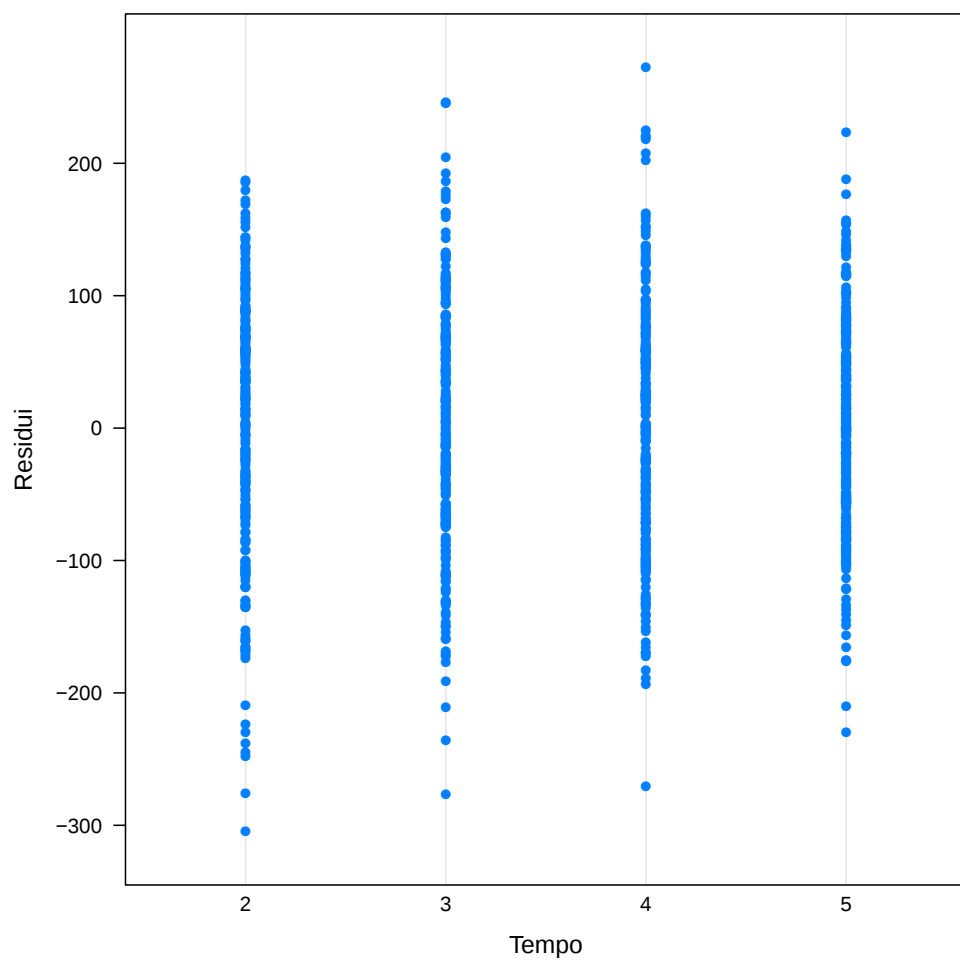


Figura 68: Analisi dei residui: Residui vs Tempo - Modello 0 - ANTHBG - Brolio

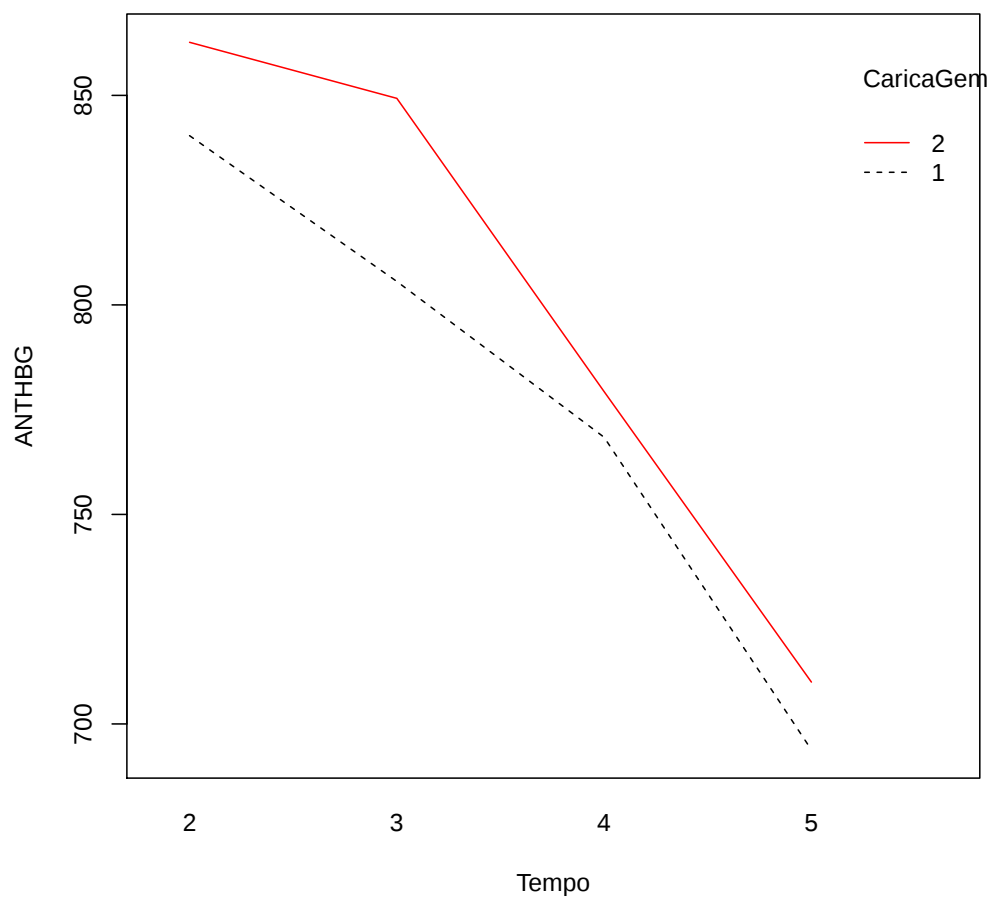


Figura 69: Interaction plot Tempo-Caricagemme - ANTHBG - Brolio

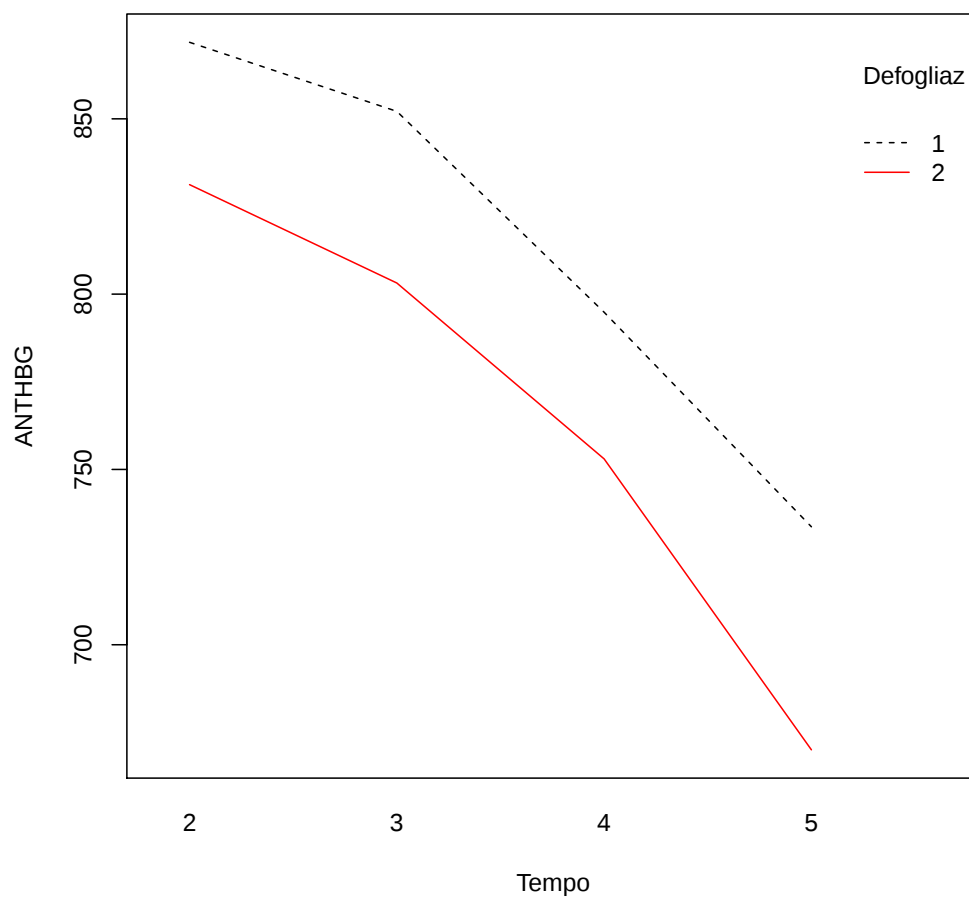


Figura 70: Interaction plot Tempo-Defogliazione - ANTHBG - Brolio

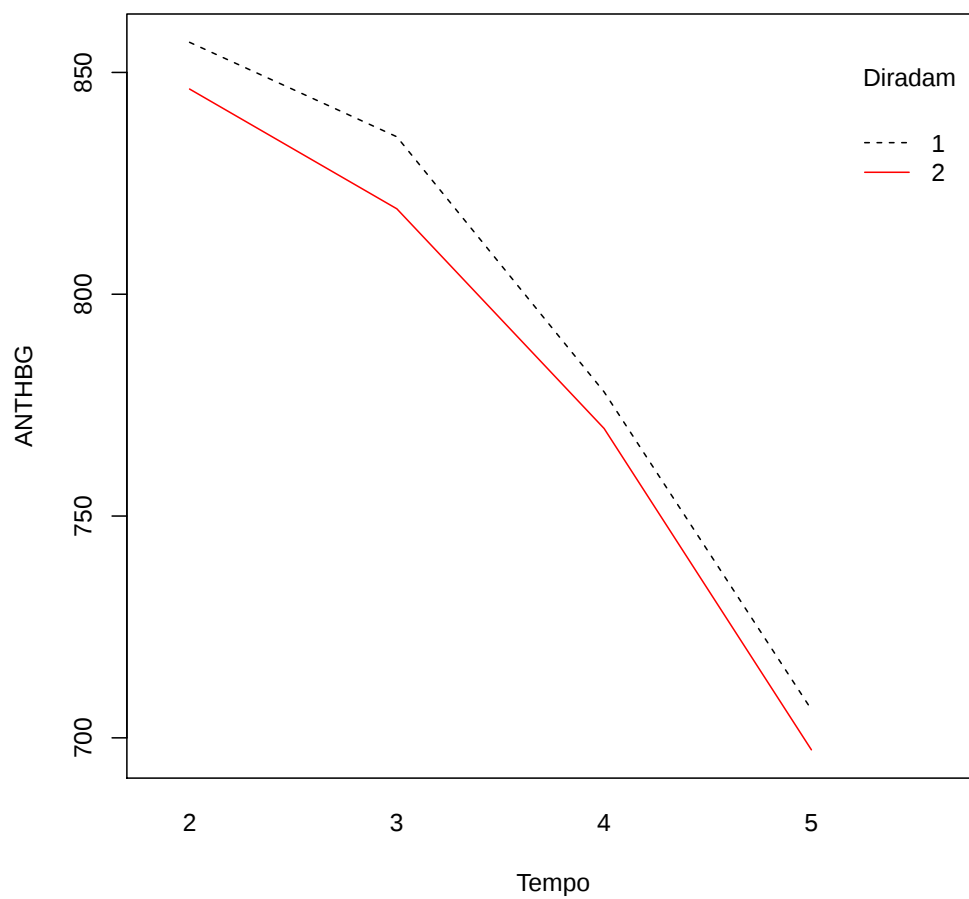


Figura 71: Interaction plot Tempo-Diradamento - ANTHBG - Brolio

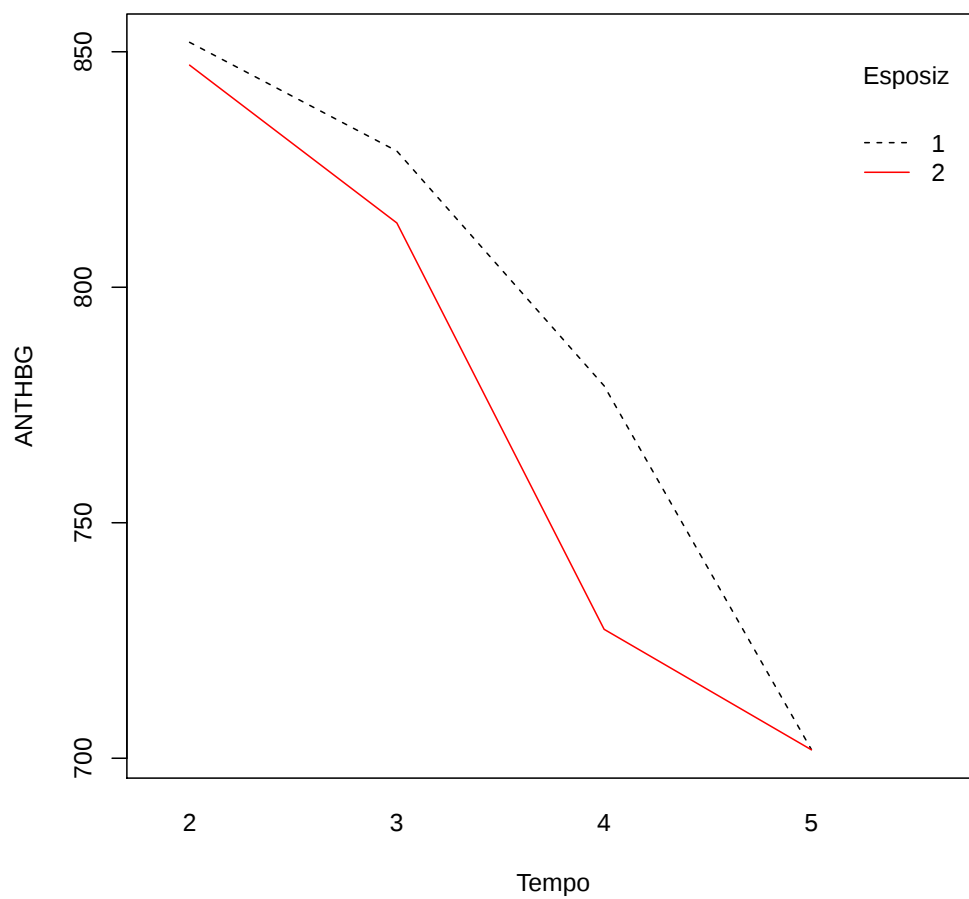


Figura 72: Interaction plot Tempo-Esposizione - ANTHBG - Brolio

6 Analisi della Varianza - Dati Mediati VIGNETO di BROLIO

Per ciascuna variabile risposta, oltre ad analizzare i dati singoli, si è provveduto ad analizzare i dati mediati, ovvero i valori medi per ogni variabile di risposta calcolati in relazione agli spari.

Questa scelta, che deriva da concetti metodologici di ANOVA relativi al controllo di fonti di rumore in ambito tecnologico, permette di valutare quanta parte della variabilità presente nei dati non dipende da fonti sistematiche (siano esse controllabili e/o anche solo misurabili) ma bensì dipende da fonti di variabilità esterne non controllate durante la sperimentazione.

Tale valutazione prende spunto proprio dall'analisi di quanta variabilità della variabile dipendente si riesce a spiegare sui dati originali. Nel nostro caso un basso valore dell'indice R^2 mette in evidenza questo problema.

L'analisi sui dati mediati mostra pertanto un notevole miglioramento non solo per l'indice R^2 *adjusted* ma anche e soprattutto, per la significatività dei singoli effetti, siano essi principali o di interazione.

Questa fase dello studio ha previsto la creazione di un modello “completo” (modello 0), che tiene conto di tutte le variabili esplicative e delle interazioni tra le stesse e di un modello ridotto (modello 1) che non presenta interazione tra le variabili; Le variabili considerate sono carica delle gemme, defogliazione, diradamento ed esposizione. Al modello 0 viene applicata la funzione “step” che permette di scegliere le covariate del modello tramite un algoritmo stepwise basato sull'AIC (Akaike Information Criterion). La modalità di selezione delle variabili scelta è quella “backward”. Al modello 1 viene applicata la funzione “step” con modalità di selezione delle variabili “both”.

6.1 ANOVA per SFRR - Modello completo

Call:

```
lm(formula = SFRR ~ Tempo + CaricaGem + Defogliaz + Diradam +
    ESPOSIZ + CaricaGem:Defogliaz + CaricaGem:Diradam + Defogliaz:Diradam +
    CaricaGem:ESPOSIZ + Defogliaz:ESPOSIZ + CaricaGem:Defogliaz:Diradam +
    CaricaGem:Defogliaz:ESPOSIZ, data = BRDF4)
```

Residuals:

Min	1Q	Median	3Q	Max
-683.39	-143.45	14.95	112.95	602.39

Coefficients:

	Estimate	Std. Error	t value
(Intercept)	1240.03	1103.14	1.124
Tempo3	-533.17	93.95	-5.675
Tempo4	-600.98	93.95	-6.397
Tempo5	-1449.54	93.95	-15.429
CaricaGem	2257.76	696.74	3.240
Defogliaz	1712.66	696.74	2.458
Diradam	2055.02	664.31	3.093
ESPOSIZ2	1028.07	664.31	1.548
CaricaGem:Defogliaz	-1193.48	440.65	-2.708
CaricaGem:Diradam	-1172.63	420.15	-2.791
Defogliaz:Diradam	-1100.48	420.15	-2.619
CaricaGem:ESPOSIZ2	-759.16	420.15	-1.807
Defogliaz:ESPOSIZ2	-637.14	420.15	-1.516
CaricaGem:Defogliaz:Diradam	625.61	265.72	2.354
CaricaGem:Defogliaz:ESPOSIZ2	471.91	265.72	1.776

	Pr(> t)
(Intercept)	0.26645
Tempo3	7.38e-07 ***
Tempo4	5.70e-08 ***
Tempo5	< 2e-16 ***
CaricaGem	0.00215 **
Defogliaz	0.01755 *
Diradam	0.00326 **

ESPOSIZ2	0.12816
CaricaGem:Defogliaz	0.00928 **
CaricaGem:Diradam	0.00747 **
Defogliaz:Diradam	0.01170 *
CaricaGem:ESPOSIZ2	0.07692 .
Defogliaz:ESPOSIZ2	0.13583
CaricaGem:Defogliaz:Diradam	0.02261 *
CaricaGem:Defogliaz:ESPOSIZ2	0.08195 .

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 265.7 on 49 degrees of freedom

Multiple R-squared: 0.8506, Adjusted R-squared: 0.8079

F-statistic: 19.92 on 14 and 49 DF, p-value: 1.553e-15

Analysis of Variance Table

Response: SFRR

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value
Tempo	3	17243968	5747989	81.4051
CaricaGem	1	131312	131312	1.8597
Defogliaz	1	1302256	1302256	18.4430
Diradam	1	44925	44925	0.6362
ESPOSIZ	1	335	335	0.0047
CaricaGem:Defogliaz	1	1460	1460	0.0207
CaricaGem:Diradam	1	219410	219410	3.1074
Defogliaz:Diradam	1	105057	105057	1.4879
CaricaGem:ESPOSIZ	1	10522	10522	0.1490
Defogliaz:ESPOSIZ	1	20010	20010	0.2834
CaricaGem:Defogliaz:Diradam	1	391392	391392	5.5430
CaricaGem:Defogliaz:ESPOSIZ	1	222701	222701	3.1540
Residuals	49	3459875	70610	

Pr(>F)

Tempo	< 2.2e-16 ***
CaricaGem	0.17889
Defogliaz	8.255e-05 ***
Diradam	0.42892
ESPOSIZ	0.94535
CaricaGem:Defogliaz	0.88627
CaricaGem:Diradam	0.08418 .
Defogliaz:Diradam	0.22839
CaricaGem:ESPOSIZ	0.70114
Defogliaz:ESPOSIZ	0.59690
CaricaGem:Defogliaz:Diradam	0.02261 *
CaricaGem:Defogliaz:ESPOSIZ	0.08195 .

Residuals

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

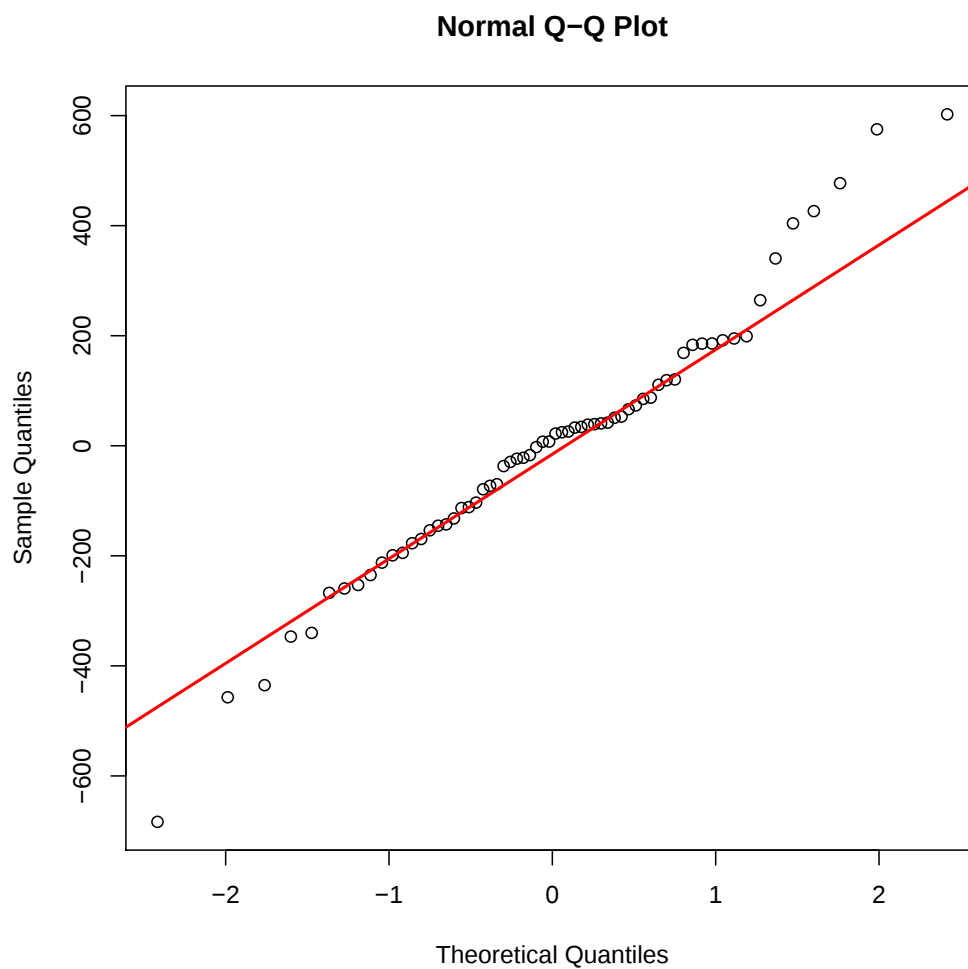


Figura 73: Analisi dei Residui: Q-Q Plot - Modello 0 - SFRR - Brolio

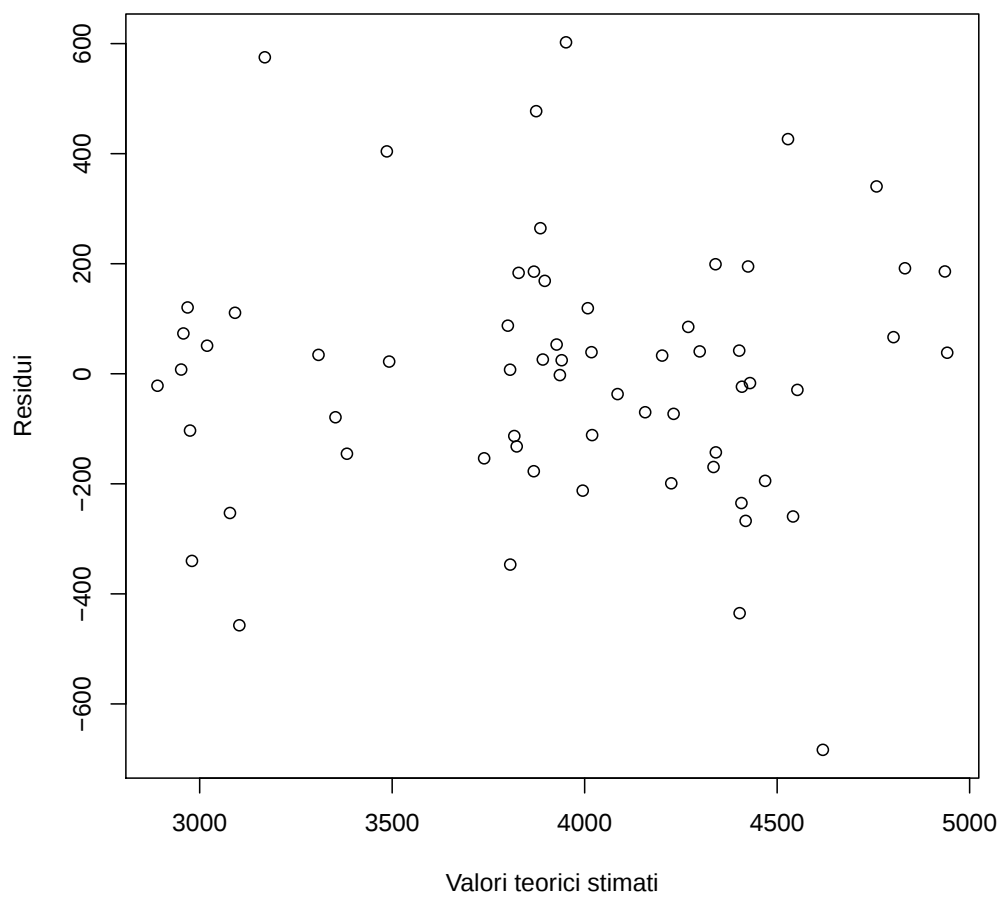


Figura 74: Analisi dei residui: Residui vs Valori teorici stimati - Modello 0 - SFRR - Brolio

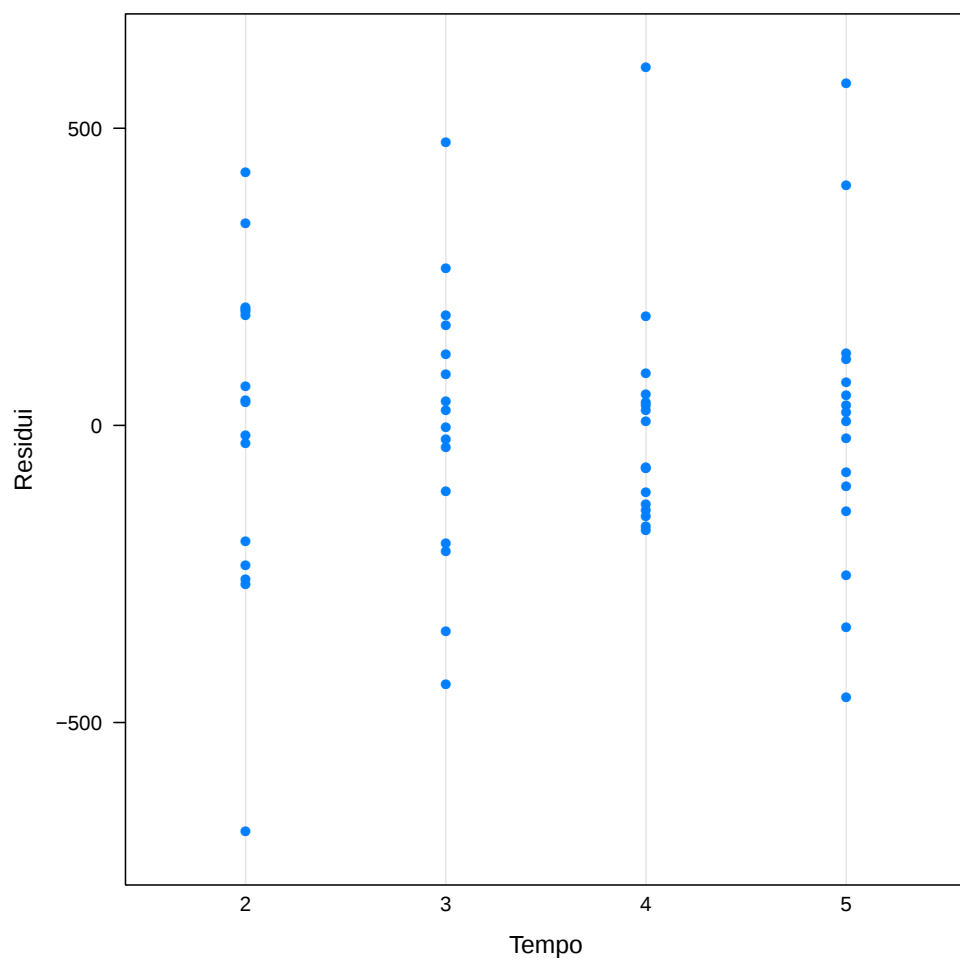


Figura 75: Analisi dei residui: Residui vs Tempo - Modello 0 - SFRR - Brolio

6.2 ANOVA per ANTHRG - Modello completo

Call:

```
lm(formula = ANTHRG ~ Tempo + CaricaGem + Defogliaz + ESPOSIZ +
    CaricaGem:Defogliaz + CaricaGem:ESPOSIZ + Defogliaz:ESPOSIZ +
    CaricaGem:Defogliaz:ESPOSIZ, data = BRDF4)
```

Residuals:

Min	1Q	Median	3Q	Max
-198.282	-29.176	5.481	29.280	124.222

Coefficients:

	Estimate	Std. Error	t value
(Intercept)	1071.24	117.93	9.084
Tempo3	75.58	23.41	3.228
Tempo4	-34.59	23.41	-1.477
Tempo5	-79.47	23.41	-3.394
CaricaGem	115.11	74.03	1.555
Defogliaz	87.62	74.03	1.184
ESPOSIZ2	-389.87	165.54	-2.355
CaricaGem:Defogliaz	-64.29	46.82	-1.373
CaricaGem:ESPOSIZ2	207.81	104.69	1.985
Defogliaz:ESPOSIZ2	252.88	104.69	2.415
CaricaGem:Defogliaz:ESPOSIZ2	-130.96	66.21	-1.978

	Pr(> t)
(Intercept)	2.17e-12 ***
Tempo3	0.00214 **
Tempo4	0.14548
Tempo5	0.00131 **
CaricaGem	0.12593
Defogliaz	0.24186
ESPOSIZ2	0.02225 *
CaricaGem:Defogliaz	0.17550
CaricaGem:ESPOSIZ2	0.05234 .
Defogliaz:ESPOSIZ2	0.01920 *
CaricaGem:Defogliaz:ESPOSIZ2	0.05316 .

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 66.21 on 53 degrees of freedom

Multiple R-squared: 0.579, Adjusted R-squared: 0.4996

F-statistic: 7.29 on 10 and 53 DF, p-value: 4.062e-07

Analysis of Variance Table

Response: ANTHRG

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
Tempo	3	205642	68547	15.6346	2.085e-07
CaricaGem	1	9493	9493	2.1651	0.1470886
Defogliaz	1	6025	6025	1.3743	0.2463156
ESPOSIZ	1	676	676	0.1541	0.6962250
CaricaGem:Defogliaz	1	67361	67361	15.3639	0.0002560
CaricaGem:ESPOSIZ	1	517	517	0.1179	0.7326651
Defogliaz:ESPOSIZ	1	12741	12741	2.9061	0.0941037
CaricaGem:Defogliaz:ESPOSIZ	1	17151	17151	3.9118	0.0531571
Residuals	53	232369	4384		

Tempo ***
CaricaGem
Defogliaz
ESPOSIZ
CaricaGem:Defogliaz ***
CaricaGem:ESPOSIZ
Defogliaz:ESPOSIZ .
CaricaGem:Defogliaz:ESPOSIZ .
Residuals

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

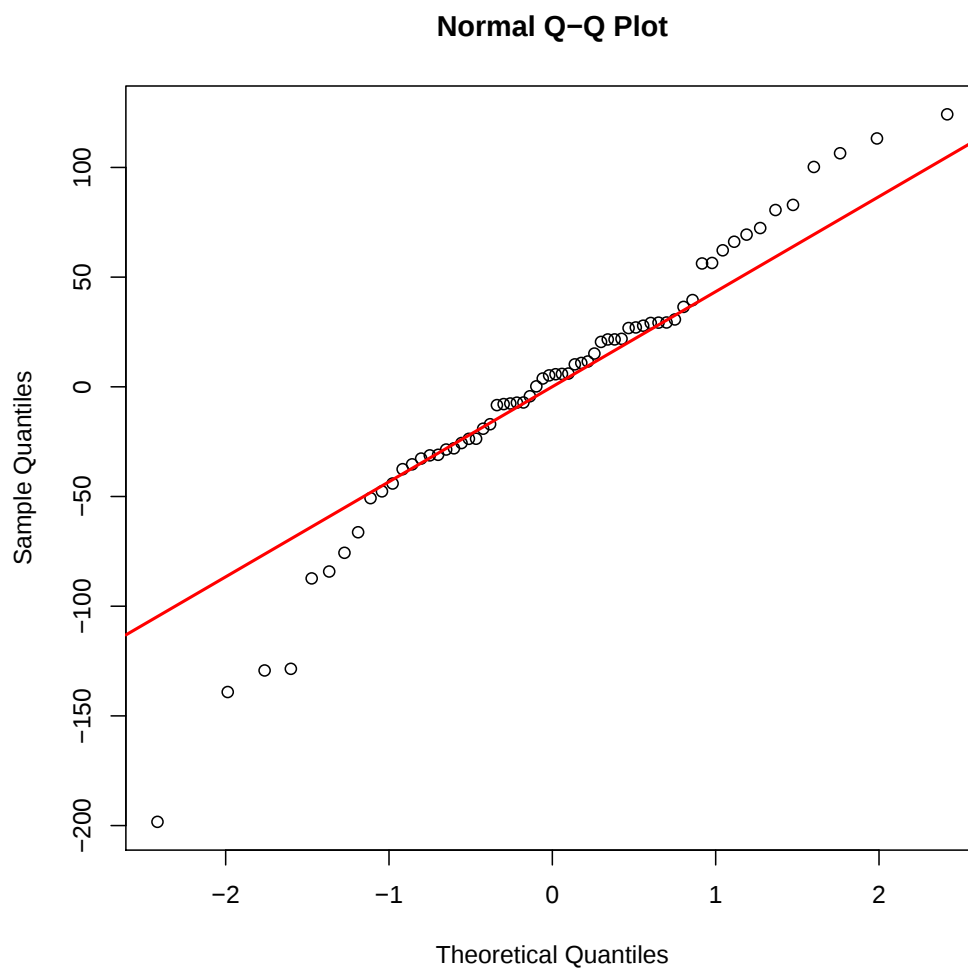


Figura 76: Analisi dei Residui: Q-Q Plot - Modello 0 - ANTHRG - Brolio

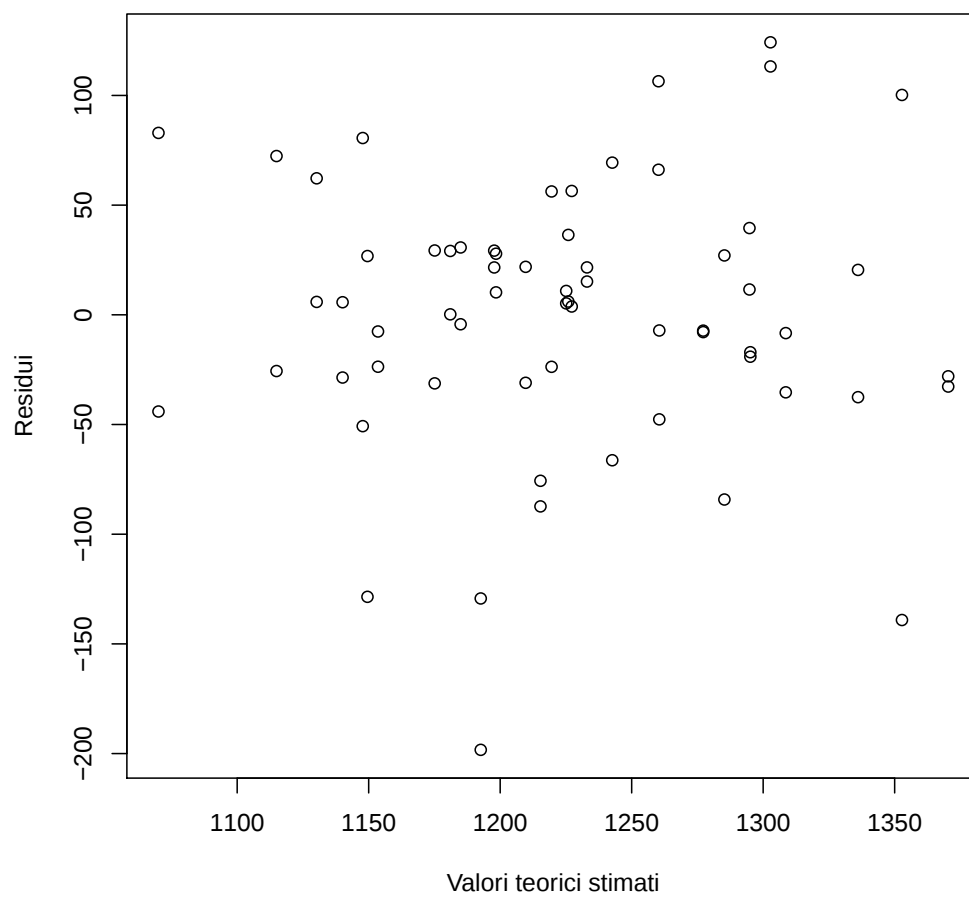


Figura 77: Analisi dei residui: Residui vs Valori teorici stimati - Modello 0 - ANTHRG - Brolio

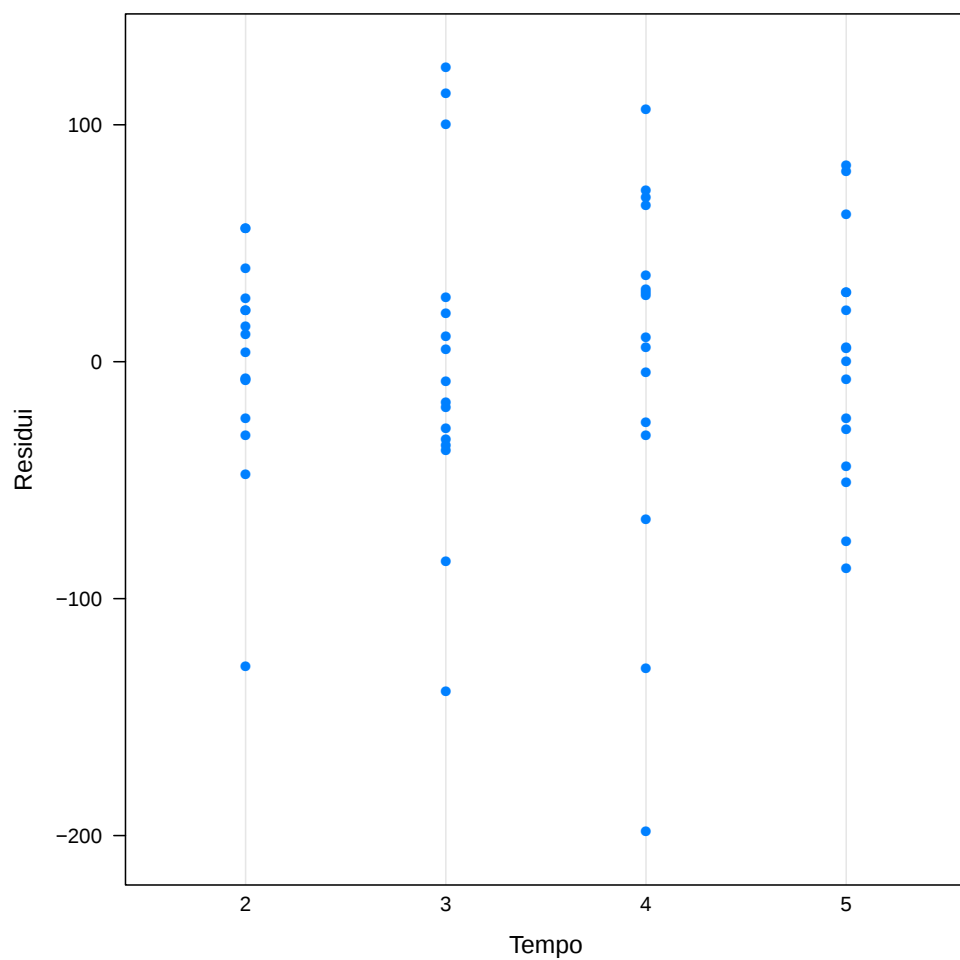


Figura 78: Analisi dei residui: Residui vs Tempo - Modello 0 - ANTHRG - Brolio

6.3 ANOVA per ANTHR - Modello completo

Call:

```
lm(formula = ANTHR ~ Tempo + CaricaGem + Defogliaz + Diradam +  
    ESPOSIZ + CaricaGem:Defogliaz + CaricaGem:Diradam + Defogliaz:Diradam +  
    Defogliaz:ESPOSIZ + CaricaGem:Defogliaz:Diradam, data = BRDF4)
```

Residuals:

Min	1Q	Median	3Q	Max
-178.249	-35.086	6.471	34.209	158.027

Coefficients:

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	1837.75	286.60	6.412	4.61e-08
Tempo3	89.89	25.47	3.529	0.000893
Tempo4	162.28	25.47	6.372	5.35e-08
Tempo5	237.60	25.47	9.329	1.31e-12
CaricaGem	-668.34	180.10	-3.711	0.000511
Defogliaz	-296.63	180.99	-1.639	0.107393
Diradam	-298.42	180.10	-1.657	0.103663
ESPOSIZ2	133.26	56.95	2.340	0.023242
CaricaGem:Defogliaz	336.48	113.90	2.954	0.004735
CaricaGem:Diradam	249.72	113.90	2.192	0.032937
Defogliaz:Diradam	163.68	113.90	1.437	0.156829
Defogliaz:ESPOSIZ2	-107.65	36.02	-2.989	0.004301
CaricaGem:Defogliaz:Diradam	-123.51	72.04	-1.714	0.092518

(Intercept)	***
Tempo3	***
Tempo4	***
Tempo5	***
CaricaGem	***
Defogliaz	
Diradam	
ESPOSIZ2	*
CaricaGem:Defogliaz	**
CaricaGem:Diradam	*

Defogliaz:Diradam

Defogliaz:ESPOSIZ2 **

CaricaGem:Defogliaz:Diradam .

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 72.04 on 51 degrees of freedom

Multiple R-squared: 0.7938, Adjusted R-squared: 0.7453

F-statistic: 16.36 on 12 and 51 DF, p-value: 1.689e-13

Analysis of Variance Table

Response: ANTHR

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
Tempo	3	494391	164797	31.7556	1.012e-11
CaricaGem	1	71665	71665	13.8094	0.0005031
Defogliaz	1	237714	237714	45.8065	1.266e-08
Diradam	1	30688	30688	5.9134	0.0185769
ESPOSIZ	1	12745	12745	2.4558	0.1232735
CaricaGem:Defogliaz	1	91470	91470	17.6259	0.0001078
CaricaGem:Diradam	1	16622	16622	3.2031	0.0794383
Defogliaz:Diradam	1	1863	1863	0.3590	0.5516906
Defogliaz:ESPOSIZ	1	46358	46358	8.9330	0.0043007
CaricaGem:Defogliaz:Diradam	1	15254	15254	2.9393	0.0925176
Residuals	51	264666	5190		

Tempo	***
CaricaGem	***
Defogliaz	***
Diradam	*
ESPOSIZ	
CaricaGem:Defogliaz	***
CaricaGem:Diradam	.
Defogliaz:Diradam	
Defogliaz:ESPOSIZ	**
CaricaGem:Defogliaz:Diradam	.
Residuals	

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

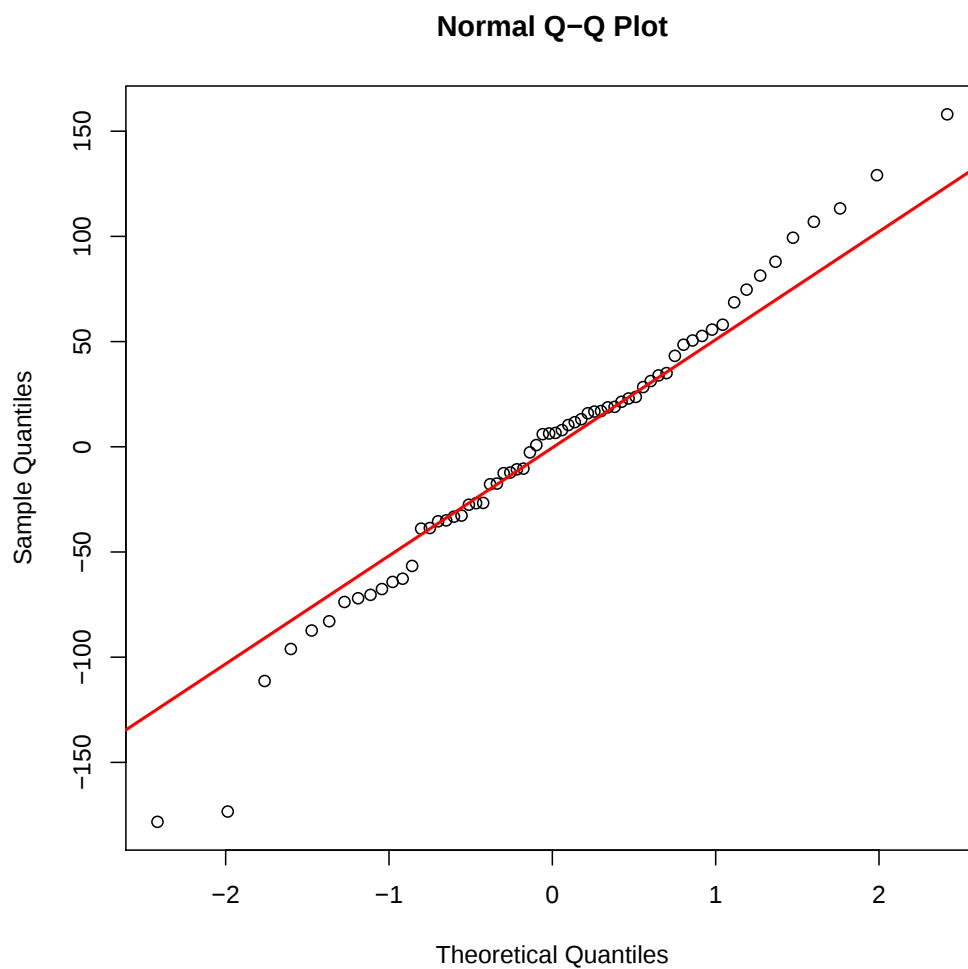


Figura 79: Analisi dei Residui: Q-Q Plot - Modello 0 - ANTHR - Brolio

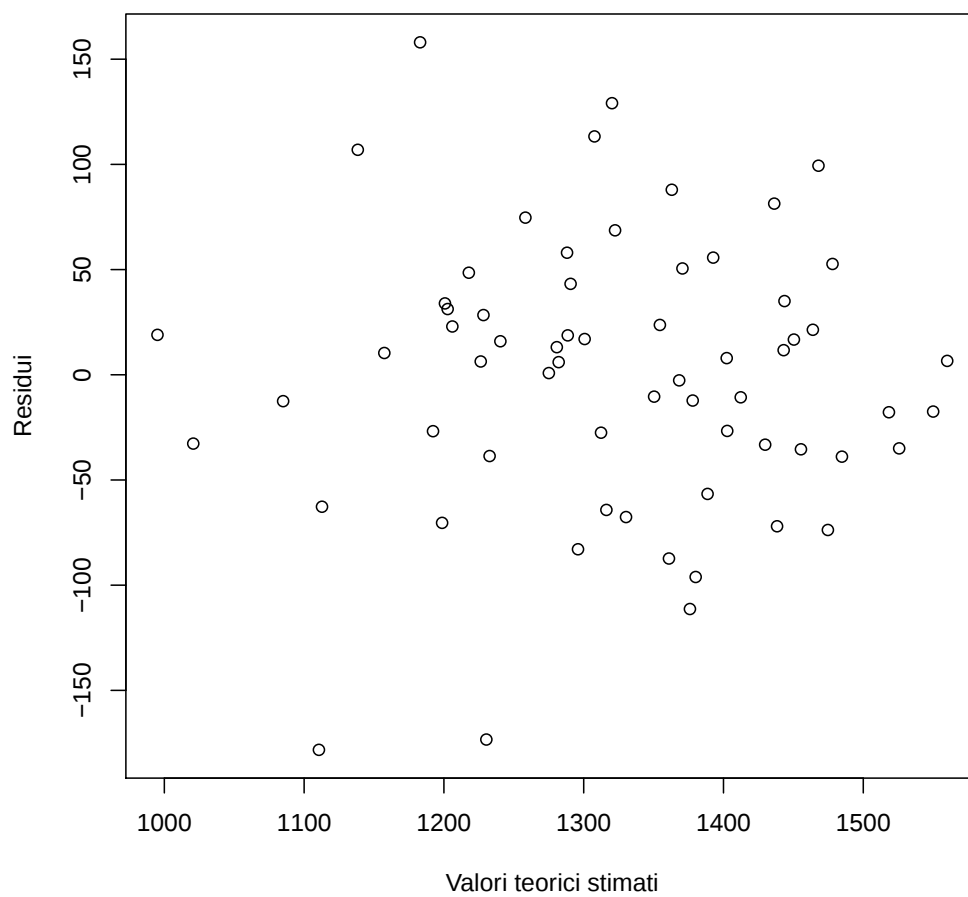


Figura 80: Analisi dei residui: Residui vs Valori teorici stimati - Modello 0 - ANTHR - Brolio

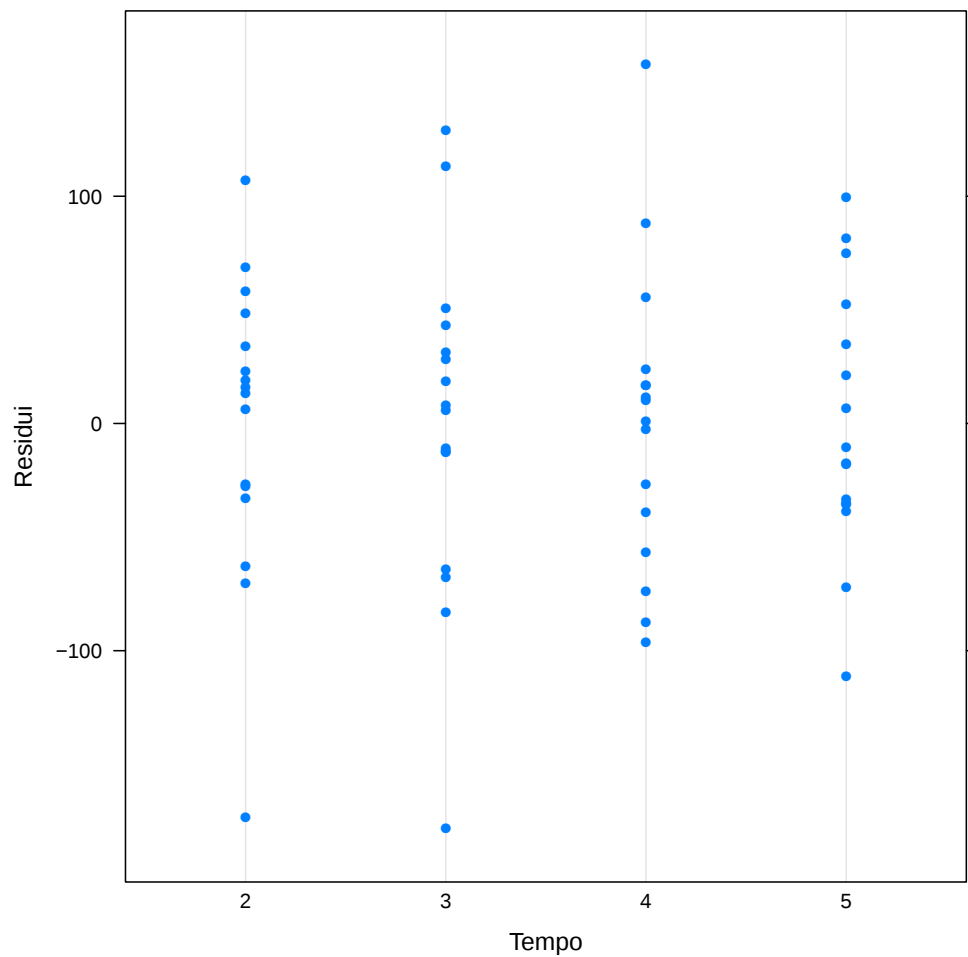


Figura 81: Analisi dei residui: Residui vs Tempo - Modello 0 - ANTHR - Brolio

6.4 ANOVA per ANTHRB - Modello completo

Call:

```
lm(formula = ANTHRB ~ Tempo + CaricaGem * Defogliaz * Diradam *  
    ESPOSIZ, data = BRDF4)
```

Residuals:

Min	1Q	Median	3Q	Max
-158.209	-28.116	-5.008	32.109	126.374

Coefficients:

	Estimate	Std. Error	t value
(Intercept)	295.541	305.733	0.967
Tempo3	106.247	19.322	5.499
Tempo4	61.548	19.322	3.185
Tempo5	68.224	19.322	3.531
CaricaGem	14.583	193.218	0.075
Defogliaz	12.914	193.218	0.067
Diradam	-19.581	193.218	-0.101
ESPOSIZ2	-729.879	432.048	-1.689
CaricaGem:Defogliaz	14.568	122.202	0.119
CaricaGem:Diradam	8.341	122.202	0.068
Defogliaz:Diradam	41.138	122.202	0.337
CaricaGem:ESPOSIZ2	402.083	273.251	1.471
Defogliaz:ESPOSIZ2	516.586	273.251	1.891
Diradam:ESPOSIZ2	367.498	273.251	1.345
CaricaGem:Defogliaz:Diradam	-23.722	77.287	-0.307
CaricaGem:Defogliaz:ESPOSIZ2	-304.276	172.819	-1.761
CaricaGem:Diradam:ESPOSIZ2	-192.758	172.819	-1.115
Defogliaz:Diradam:ESPOSIZ2	-257.638	172.819	-1.491
CaricaGem:Defogliaz:Diradam:ESPOSIZ2	155.430	109.300	1.422
	Pr(> t)		
(Intercept)	0.338879		
Tempo3	1.72e-06 ***		
Tempo4	0.002626 **		
Tempo5	0.000969 ***		
CaricaGem	0.940170		

Defogliaz	0.947007
Diradam	0.919729
ESPOSIZ2	0.098071 .
CaricaGem:Defogliaz	0.905640
CaricaGem:Diradam	0.945883
Defogliaz:Diradam	0.737954
CaricaGem:ESPOSIZ2	0.148121
Defogliaz:ESPOSIZ2	0.065139 .
Diradam:ESPOSIZ2	0.185394
CaricaGem:Defogliaz:Diradam	0.760315
CaricaGem:Defogliaz:ESPOSIZ2	0.085091 .
CaricaGem:Diradam:ESPOSIZ2	0.270612
Defogliaz:Diradam:ESPOSIZ2	0.142993
CaricaGem:Defogliaz:Diradam:ESPOSIZ2	0.161909

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 54.65 on 45 degrees of freedom

Multiple R-squared: 0.596, Adjusted R-squared: 0.4344

F-statistic: 3.688 on 18 and 45 DF, p-value: 0.0001938

Analysis of Variance Table

Response: ANTHRB

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value
Tempo	3	92878	30959	10.3659
CaricaGem	1	27	27	0.0091
Defogliaz	1	48075	48075	16.0967
Diradam	1	7797	7797	2.6105
ESPOSIZ	1	10763	10763	3.6037
CaricaGem:Defogliaz	1	12805	12805	4.2875
CaricaGem:Diradam	1	199	199	0.0665
Defogliaz:Diradam	1	179	179	0.0600
CaricaGem:ESPOSIZ	1	156	156	0.0523
Defogliaz:ESPOSIZ	1	2196	2196	0.7354
Diradam:ESPOSIZ	1	6929	6929	2.3201
CaricaGem:Defogliaz:Diradam	1	2915	2915	0.9761
CaricaGem:Defogliaz:ESPOSIZ	1	5060	5060	1.6941
CaricaGem:Diradam:ESPOSIZ	1	1631	1631	0.5461
Defogliaz:Diradam:ESPOSIZ	1	600	600	0.2009
CaricaGem:Defogliaz:Diradam:ESPOSIZ	1	6040	6040	2.0222
Residuals	45	134399	2987	
		Pr(>F)		
Tempo		2.634e-05	***	
CaricaGem		0.9245050		
Defogliaz		0.0002247	***	
Diradam		0.1131487		
ESPOSIZ		0.0640765	.	
CaricaGem:Defogliaz		0.0441592	*	
CaricaGem:Diradam		0.7976463		
Defogliaz:Diradam		0.8076739		
CaricaGem:ESPOSIZ		0.8201247		
Defogliaz:ESPOSIZ		0.3956935		
Diradam:ESPOSIZ		0.1347068		
CaricaGem:Defogliaz:Diradam		0.3284445		
CaricaGem:Defogliaz:ESPOSIZ		0.1996868		
CaricaGem:Diradam:ESPOSIZ		0.4637399		
Defogliaz:Diradam:ESPOSIZ		0.6561749		

CaricaGem:Defogliaz:Diradam:ESP0SIZ 0.1619087

Residuals

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

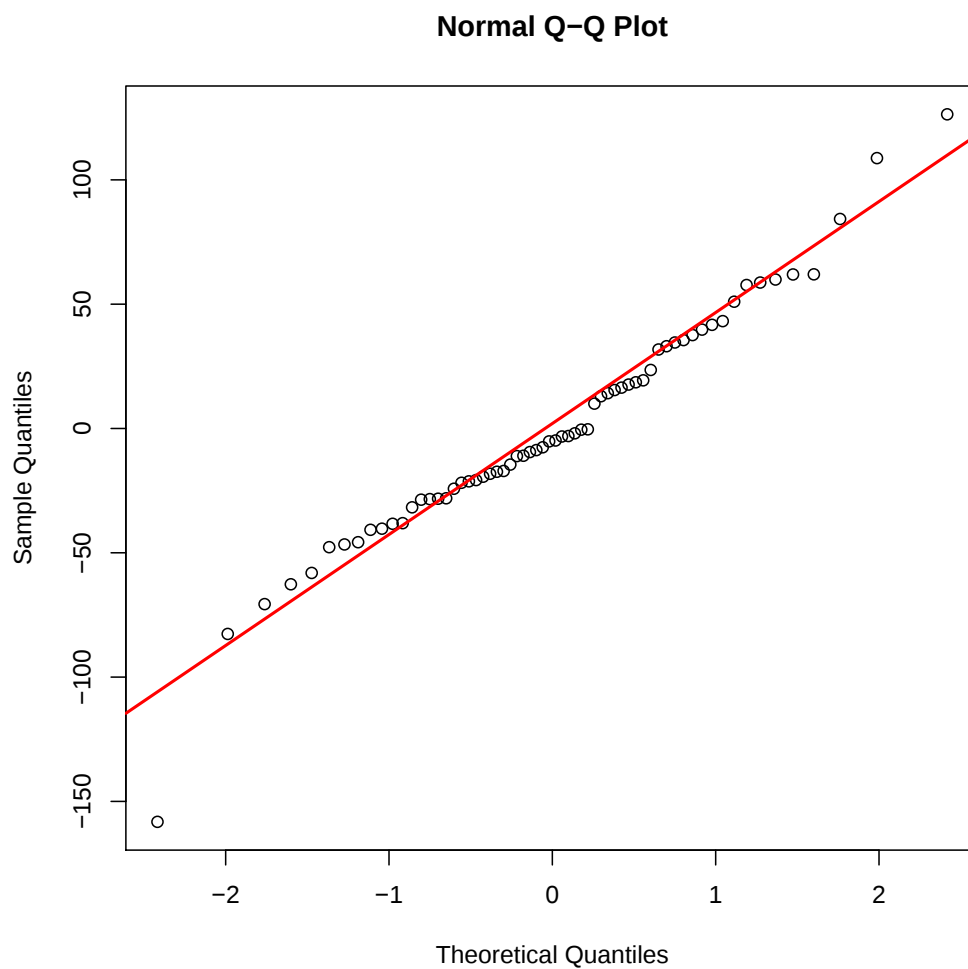


Figura 82: Analisi dei Residui: Q-Q Plot - Modello 0 - ANTHRB - Brolio

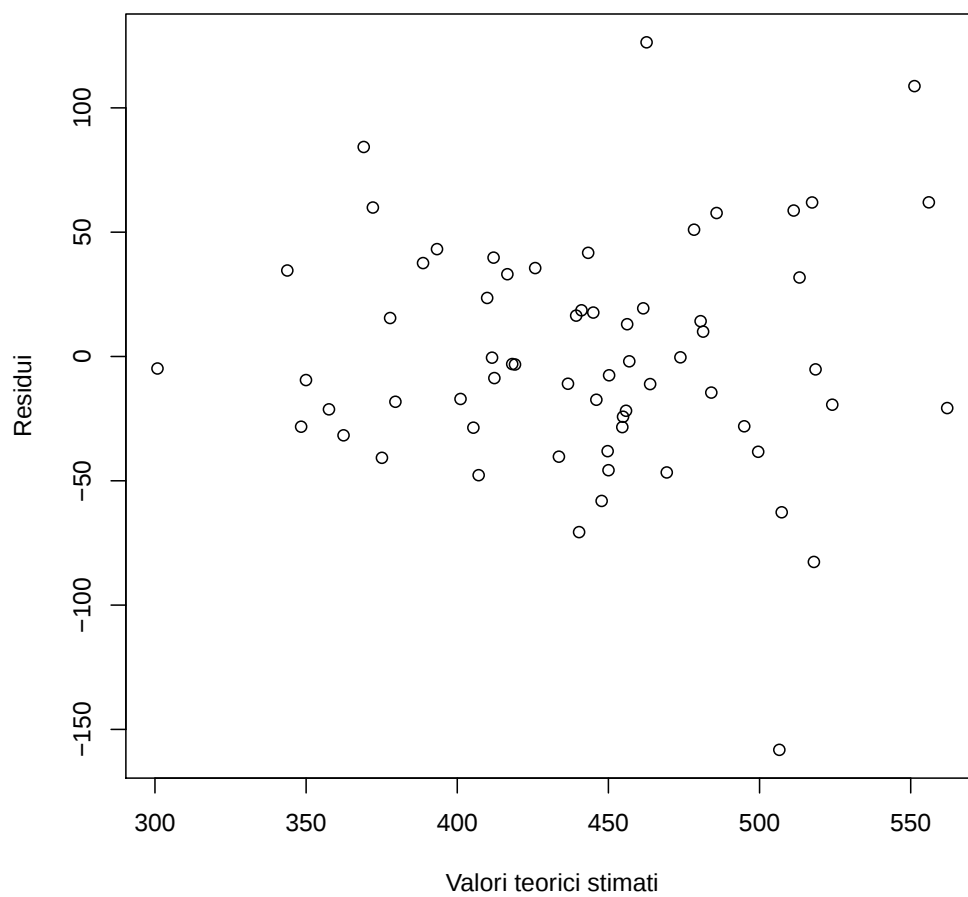


Figura 83: Analisi dei residui: Residui vs Valori teorici stimati - Modello 0 - ANTHRB - Brolio

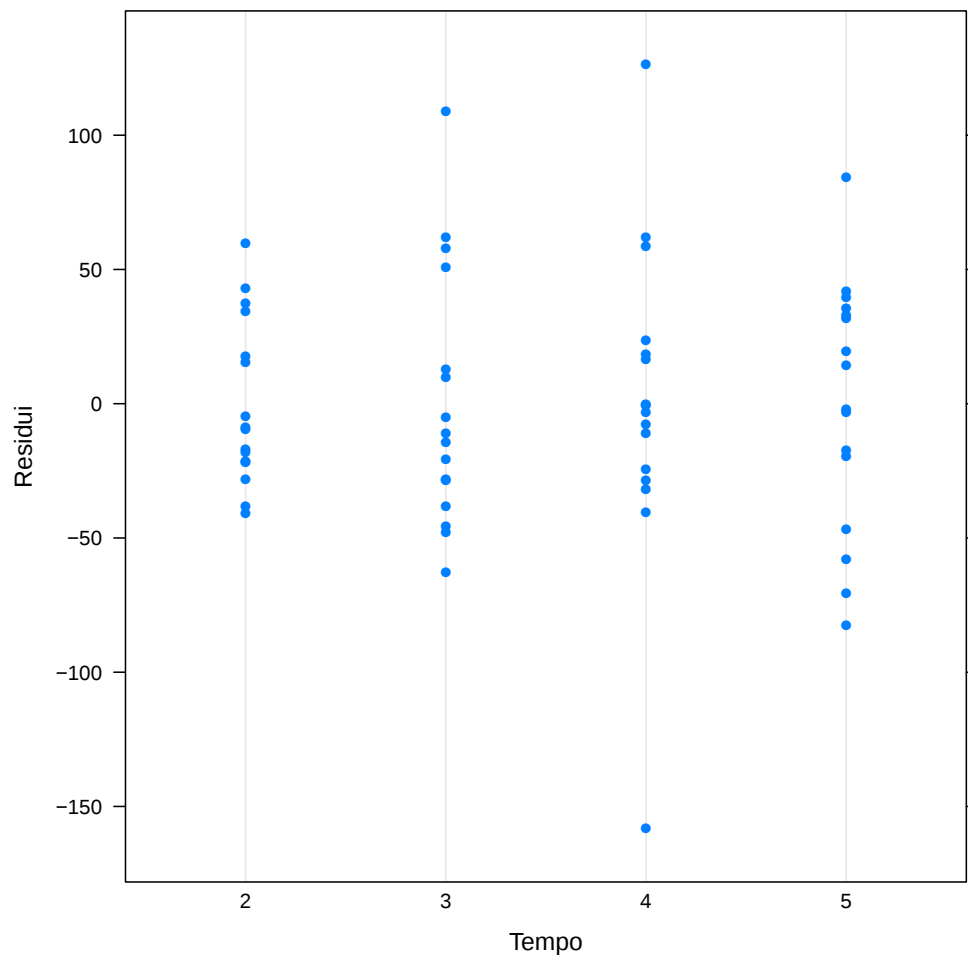


Figura 84: Analisi dei residui: Residui vs Tempo - Modello 0 - ANTHRB - Brolio

6.5 ANOVA per ANTHB - Modello completo

Call:

```
lm(formula = ANTHB ~ Tempo + CaricaGem + Defogliaz + Diradam +  
    ESPOSIZ + CaricaGem:Defogliaz + CaricaGem:Diradam + CaricaGem:ESPOSIZ +  
    Defogliaz:ESPOSIZ + Diradam:ESPOSIZ + CaricaGem:Defogliaz:ESPOSIZ,  
    data = BRDF4)
```

Residuals:

Min	1Q	Median	3Q	Max
-244.165	-42.343	-5.253	52.765	175.314

Coefficients:

	Estimate	Std. Error	t value
(Intercept)	1814.57	198.03	9.163
Tempo3	196.29	32.23	6.090
Tempo4	223.95	32.23	6.948
Tempo5	305.79	32.23	9.487
CaricaGem	-397.78	122.73	-3.241
Defogliaz	-20.28	101.92	-0.199
Diradam	-60.61	75.59	-0.802
ESPOSIZ2	-300.95	237.94	-1.265
CaricaGem:Defogliaz	159.39	64.46	2.473
CaricaGem:Diradam	57.46	45.58	1.261
CaricaGem:ESPOSIZ2	202.60	144.14	1.406
Defogliaz:ESPOSIZ2	109.66	144.14	0.761
Diradam:ESPOSIZ2	80.58	45.58	1.768
CaricaGem:Defogliaz:ESPOSIZ2	-129.16	91.16	-1.417

	Pr(> t)
(Intercept)	2.80e-12 ***
Tempo3	1.58e-07 ***
Tempo4	7.23e-09 ***
Tempo5	9.16e-13 ***
CaricaGem	0.00212 **
Defogliaz	0.84305
Diradam	0.42642
ESPOSIZ2	0.21180

CaricaGem:Defogliaz	0.01686 *
CaricaGem:Diradam	0.21333
CaricaGem:ESPOSIZ2	0.16603
Defogliaz:ESPOSIZ2	0.45036
Diradam:ESPOSIZ2	0.08317 .
CaricaGem:Defogliaz:ESPOSIZ2	0.16273

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 91.16 on 50 degrees of freedom

Multiple R-squared: 0.7908, Adjusted R-squared: 0.7364

F-statistic: 14.54 on 13 and 50 DF, p-value: 9.926e-13

Analysis of Variance Table

Response: ANTHB

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
Tempo	3	806563	268854	32.3513	9.103e-12
CaricaGem	1	74170	74170	8.9249	0.004350
Defogliaz	1	499901	499901	60.1533	3.974e-10
Diradam	1	69410	69410	8.3521	0.005684
ESPOSIZ	1	84	84	0.0102	0.920108
CaricaGem:Defogliaz	1	35955	35955	4.3265	0.042669
CaricaGem:Diradam	1	13205	13205	1.5890	0.213327
CaricaGem:ESPOSIZ	1	314	314	0.0378	0.846697
Defogliaz:ESPOSIZ	1	28278	28278	3.4028	0.071015
Diradam:ESPOSIZ	1	25975	25975	3.1256	0.083174
CaricaGem:Defogliaz:ESPOSIZ	1	16682	16682	2.0074	0.162734
Residuals	50	415523	8310		

Tempo	***
CaricaGem	**
Defogliaz	***
Diradam	**
ESPOSIZ	
CaricaGem:Defogliaz	*
CaricaGem:Diradam	
CaricaGem:ESPOSIZ	
Defogliaz:ESPOSIZ	.
Diradam:ESPOSIZ	.
CaricaGem:Defogliaz:ESPOSIZ	
Residuals	

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

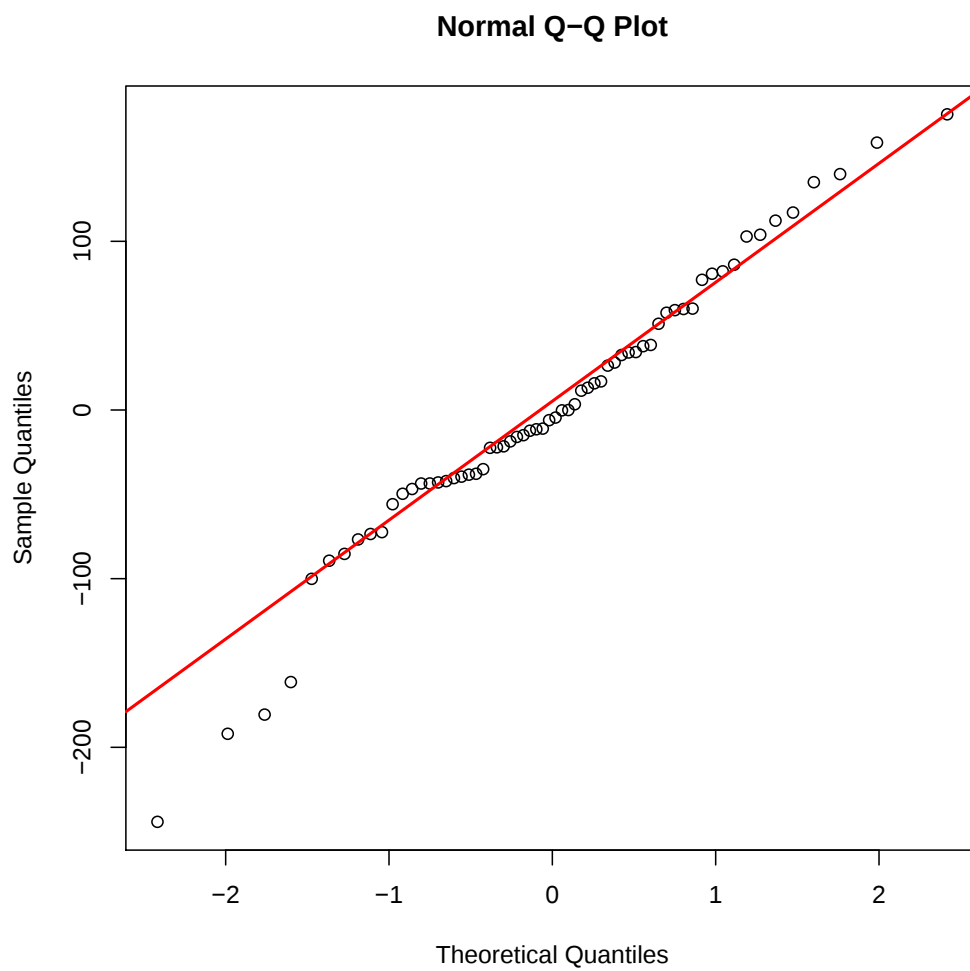


Figura 85: Analisi dei Residui: Q-Q Plot - Modello 0 - ANTHB - Brolio

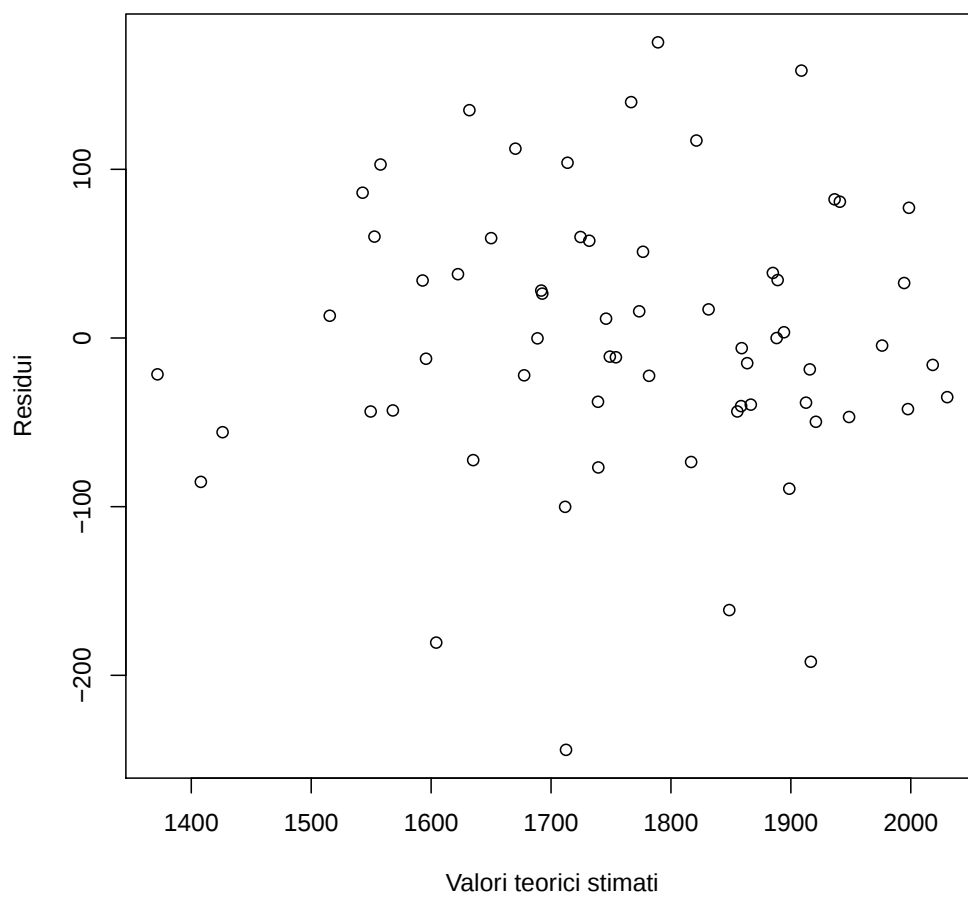


Figura 86: Analisi dei residui: Residui vs Valori teorici stimati - Modello 0 - ANTHB - Brolio

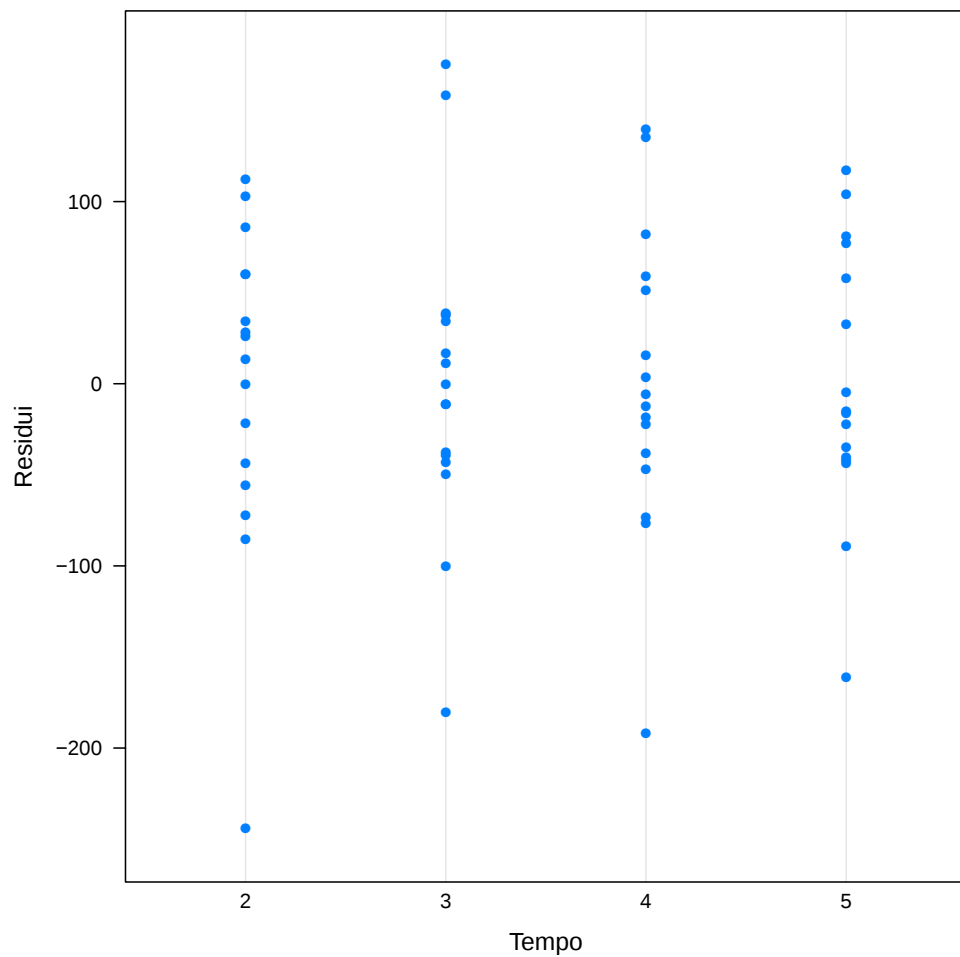


Figura 87: Analisi dei residui: Residui vs Tempo - Modello 0 - ANTHB - Brolio

6.6 ANOVA per ANTHRUV - Modello completo

Call:

```
lm(formula = ANTHRUV ~ Tempo + Defogliaz + Diradam + ESPOSIZ +
    Defogliaz:Diradam + Defogliaz:ESPOSIZ, data = BRDF4)
```

Residuals:

Min	1Q	Median	3Q	Max
-199.219	-58.389	-0.042	47.448	242.395

Coefficients:

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)	
(Intercept)	766.53	114.68	6.684	1.24e-08	***
Tempo3	-120.84	30.51	-3.960	0.000217	***
Tempo4	-94.49	30.51	-3.097	0.003078	**
Tempo5	-266.19	30.51	-8.724	5.87e-12	***
Defogliaz	184.08	71.56	2.572	0.012834	*
Diradam	109.10	68.23	1.599	0.115569	
ESPOSIZ2	-26.47	68.23	-0.388	0.699606	
Defogliaz:Diradam	-72.48	43.15	-1.680	0.098712	.
Defogliaz:ESPOSIZ2	79.45	43.15	1.841	0.070992	.

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 86.31 on 55 degrees of freedom

Multiple R-squared: 0.7049, Adjusted R-squared: 0.6619

F-statistic: 16.42 on 8 and 55 DF, p-value: 4.167e-12

Analysis of Variance Table

Response: ANTHRUUV

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)	
Tempo	3	582776	194259	26.0782	1.261e-10	***
Defogliaz	1	211915	211915	28.4484	1.865e-06	***
Diradam	1	2	2	0.0003	0.98613	
ESPOSIZ	1	137538	137538	18.4637	7.116e-05	***
Defogliaz:Diradam	1	21014	21014	2.8210	0.09871	.
Defogliaz:ESPOSIZ	1	25252	25252	3.3899	0.07099	.
Residuals	55	409700	7449			

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

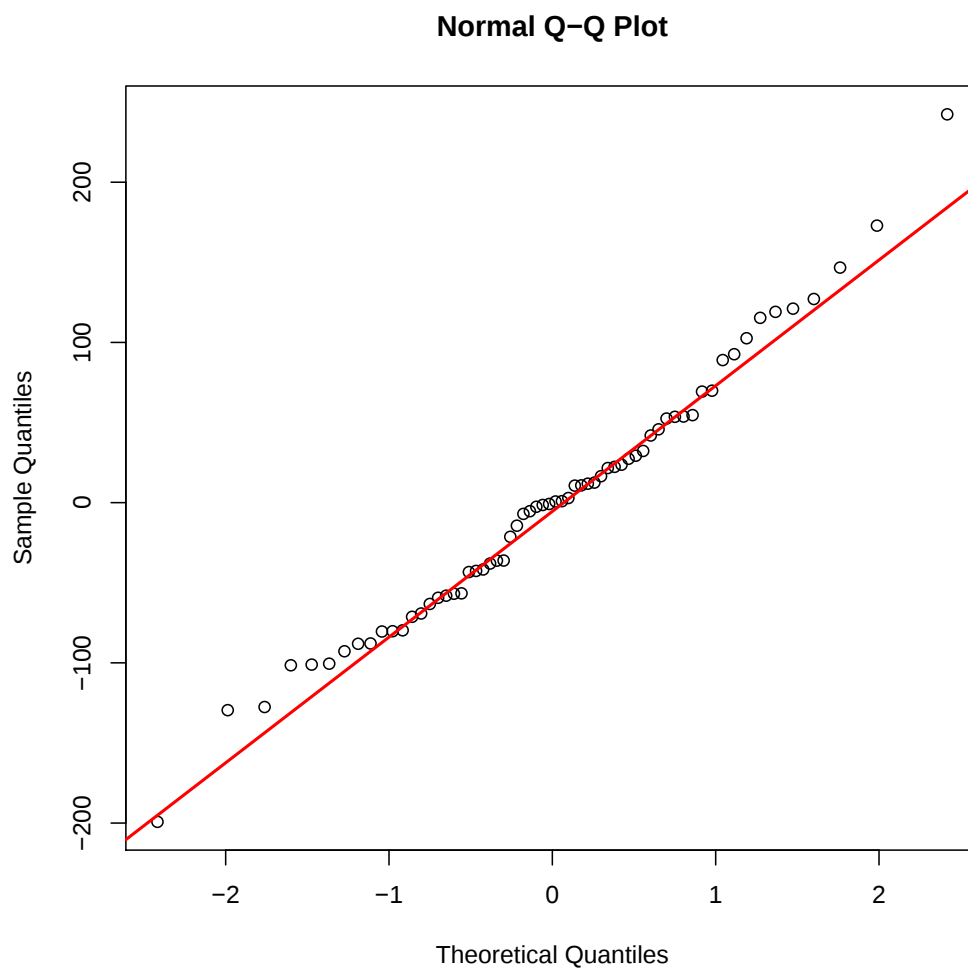


Figura 88: Analisi dei Residui: Q-Q Plot - Modello 0 - ANTHRUV - Brolio

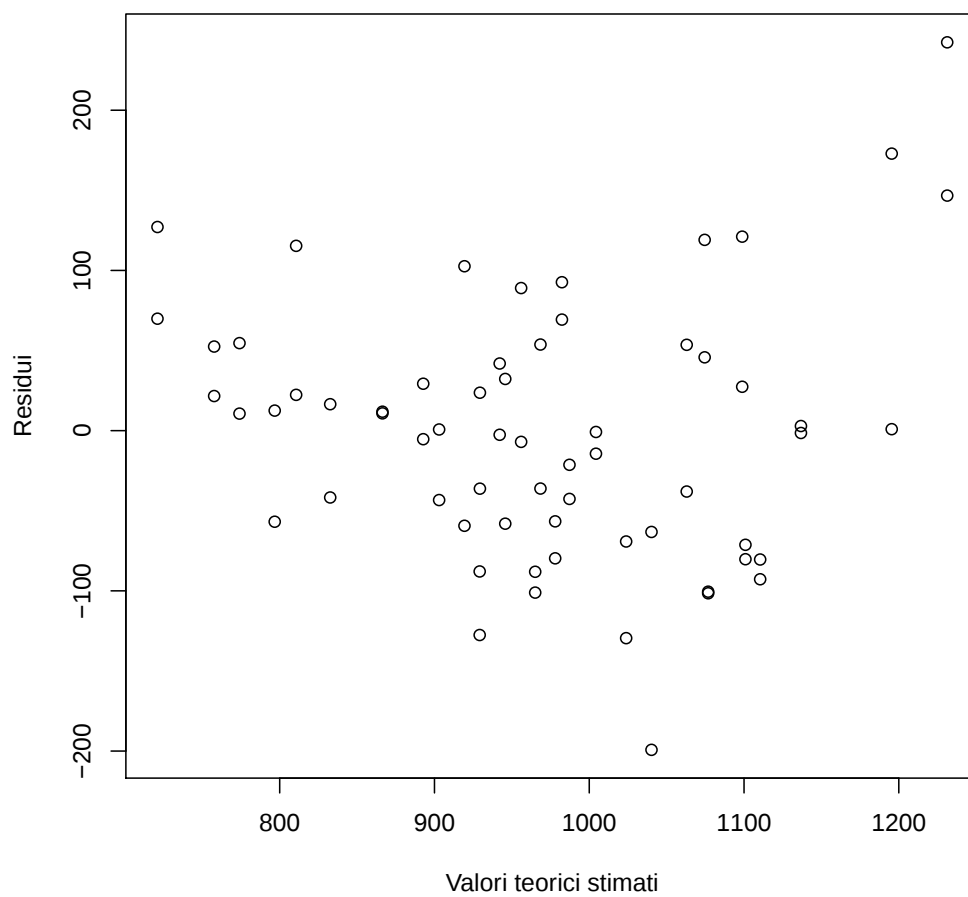


Figura 89: Analisi dei residui: Residui vs Valori teorici stimati - Modello 0 - ANTHRUV - Brolio

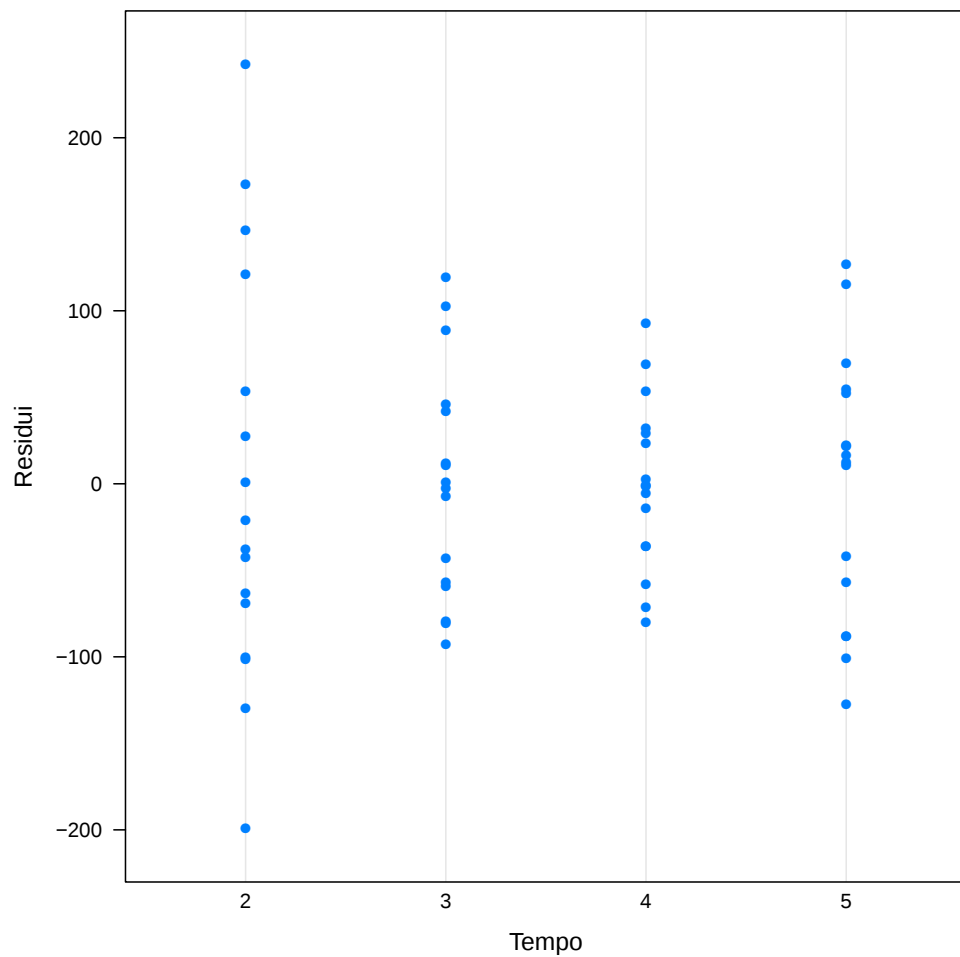


Figura 90: Analisi dei residui: Residui vs Tempo - Modello 0 - ANTHRUV
- Brolio

6.7 ANOVA per ANTHUV - Modello completo

Call:

```
lm(formula = ANTHUV ~ Tempo + CaricaGem + Defogliaz + Diradam +  
    ESPOSIZ + CaricaGem:Defogliaz + Defogliaz:Diradam + Diradam:ESPOSIZ,  
    data = BRDF4)
```

Residuals:

Min	1Q	Median	3Q	Max
-239.970	-61.848	-8.634	46.057	196.611

Coefficients:

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	2058.02	165.29	12.451	< 2e-16 ***
Tempo3	-30.87	32.81	-0.941	0.35103
Tempo4	67.92	32.81	2.070	0.04335 *
Tempo5	-28.60	32.81	-0.872	0.38738
CaricaGem	-251.53	73.37	-3.428	0.00118 **
Defogliaz	205.70	101.13	2.034	0.04698 *
Diradam	146.66	76.95	1.906	0.06209 .
ESPOSIZ2	-51.16	73.37	-0.697	0.48863
CaricaGem:Defogliaz	114.85	46.40	2.475	0.01655 *
Defogliaz:Diradam	-93.98	46.40	-2.025	0.04788 *
Diradam:ESPOSIZ2	77.09	46.40	1.661	0.10255

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 92.81 on 53 degrees of freedom

Multiple R-squared: 0.7417, Adjusted R-squared: 0.693

F-statistic: 15.22 on 10 and 53 DF, p-value: 2.470e-12

Analysis of Variance Table

Response: ANTHUV

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
Tempo	3	101854	33951	3.9419	0.013019 *
CaricaGem	1	100491	100491	11.6674	0.001228 **
Defogliaz	1	898723	898723	104.3451	3.979e-14 ***
Diradam	1	31308	31308	3.6350	0.062006 .
ESPOSIZ	1	66511	66511	7.7222	0.007530 **
CaricaGem:Defogliaz	1	52764	52764	6.1261	0.016552 *
Defogliaz:Diradam	1	35330	35330	4.1020	0.047883 *
Diradam:ESPOSIZ	1	23773	23773	2.7601	0.102545
Residuals	53	456488	8613		

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

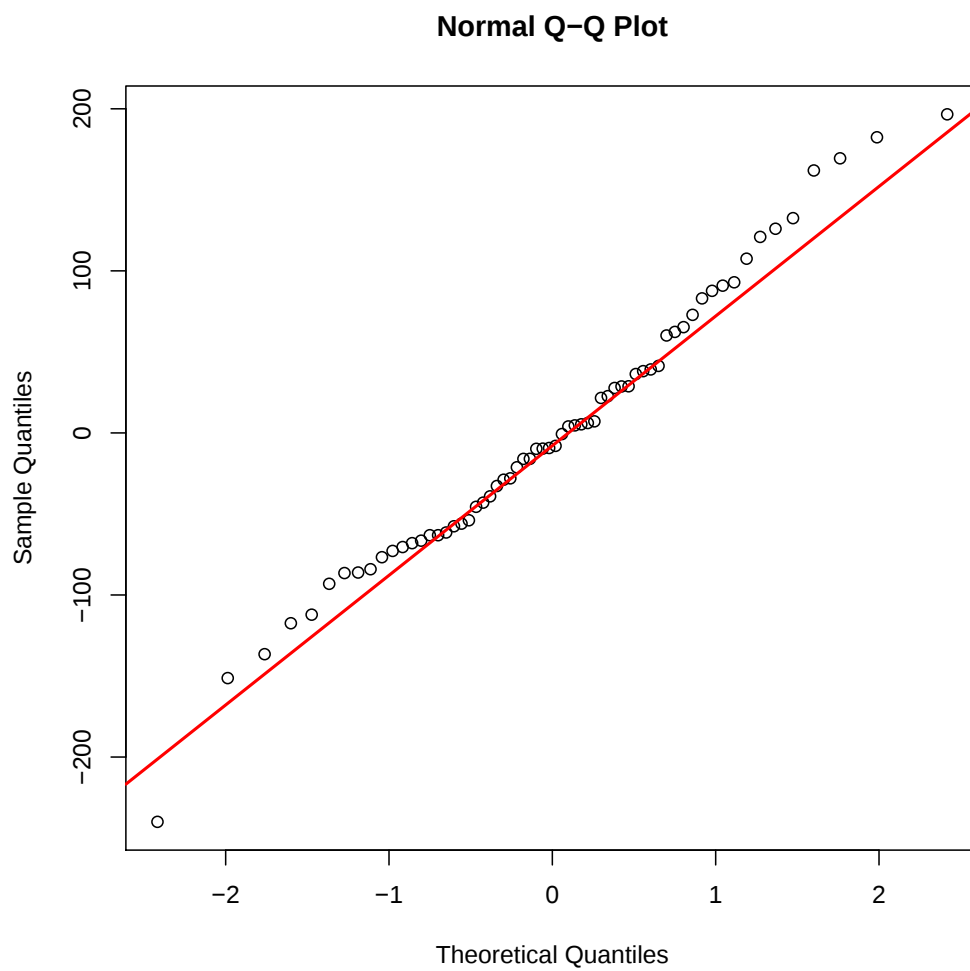


Figura 91: Analisi dei Residui: Q-Q Plot - Modello 0 - ANTHUV - Brolio

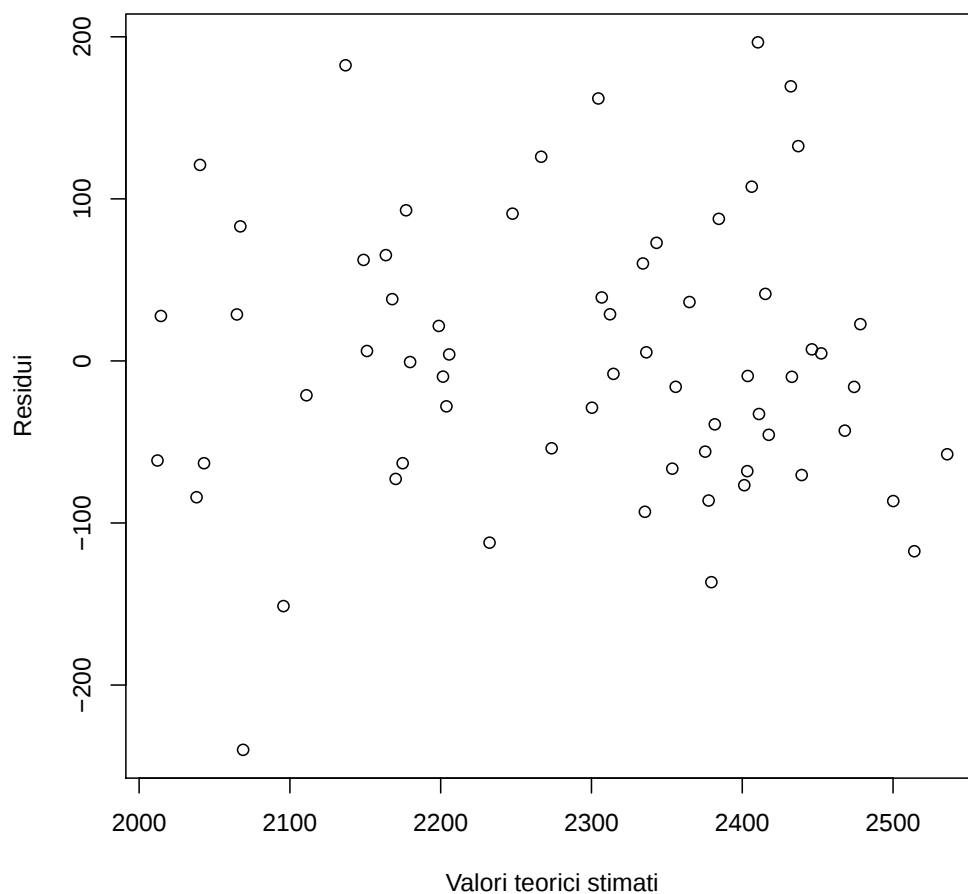


Figura 92: Analisi dei residui: Residui vs Valori teorici stimati - Modello 0 - ANTHUV - Brolio

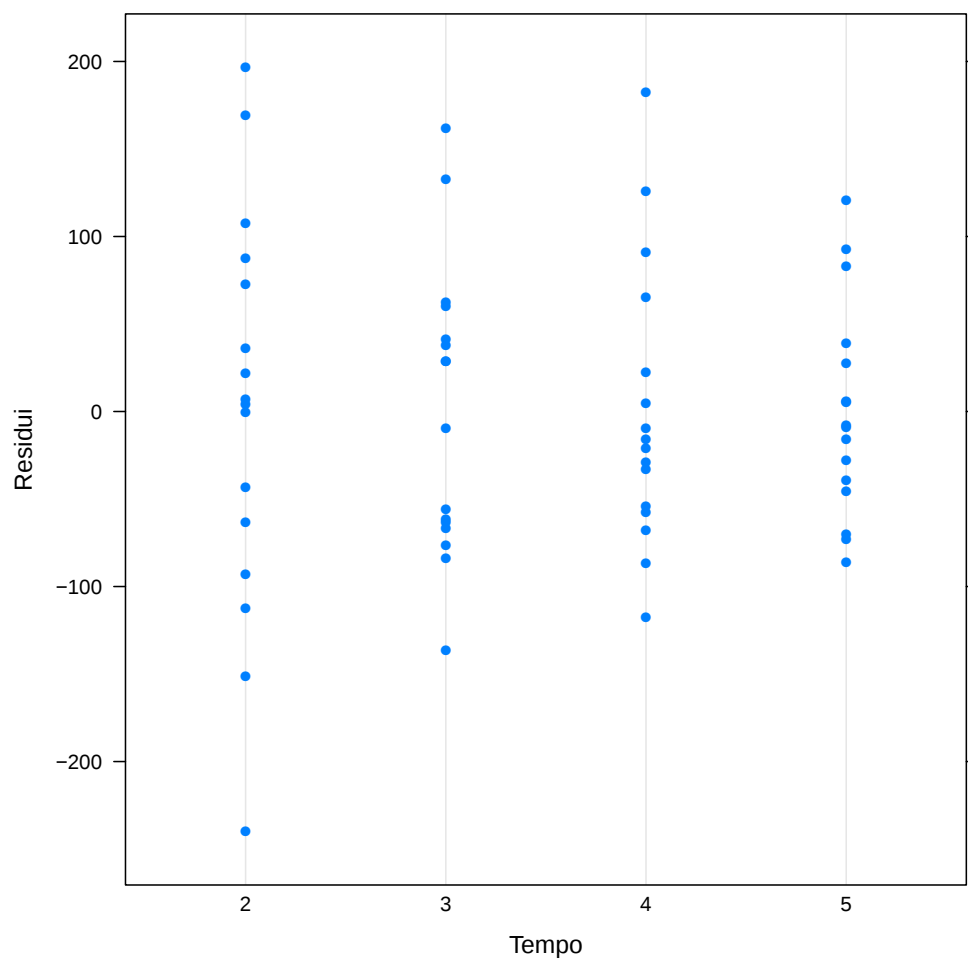


Figura 93: Analisi dei residui: Residui vs Tempo - Modello 0 - ANTHUV - Brolio

6.8 ANOVA per ANTHG - Modello completo

Call:

```
lm(formula = ANTHG ~ Tempo + CaricaGem + Defogliaz + Diradam +  
    ESPOSIZ + CaricaGem:Defogliaz + CaricaGem:ESPOSIZ + Defogliaz:ESPOSIZ +  
    Diradam:ESPOSIZ + CaricaGem:Defogliaz:ESPOSIZ, data = BRDF4)
```

Residuals:

Min	1Q	Median	3Q	Max
-236.581	-44.747	2.574	51.477	152.123

Coefficients:

	Estimate	Std. Error	t value
(Intercept)	2503.121	145.934	17.152
Tempo3	165.466	27.765	5.959
Tempo4	127.658	27.765	4.598
Tempo5	158.141	27.765	5.696
CaricaGem	-223.432	87.802	-2.545
Defogliaz	-7.054	87.802	-0.080
Diradam	16.895	27.765	0.608
ESPOSIZ2	-471.157	204.976	-2.299
CaricaGem:Defogliaz	116.005	55.531	2.089
CaricaGem:ESPOSIZ2	296.890	124.171	2.391
Defogliaz:ESPOSIZ2	231.929	124.171	1.868
Diradam:ESPOSIZ2	54.001	39.266	1.375
CaricaGem:Defogliaz:ESPOSIZ2	-188.796	78.533	-2.404

Pr(>|t|)

(Intercept)	< 2e-16 ***
Tempo3	2.37e-07 ***
Tempo4	2.85e-05 ***
Tempo5	6.12e-07 ***
CaricaGem	0.0140 *
Defogliaz	0.9363
Diradam	0.5456
ESPOSIZ2	0.0257 *
CaricaGem:Defogliaz	0.0417 *
CaricaGem:ESPOSIZ2	0.0205 *

Defogliaz:ESPOSIZ2 0.0675 .

Diradam:ESPOSIZ2 0.1751

CaricaGem:Defogliaz:ESPOSIZ2 0.0199 *

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 78.53 on 51 degrees of freedom

Multiple R-squared: 0.6994, Adjusted R-squared: 0.6286

F-statistic: 9.887 on 12 and 51 DF, p-value: 1.385e-09

Analysis of Variance Table

Response: ANTHG

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
Tempo	3	284387	94796	15.3705	2.997e-07
CaricaGem	1	29005	29005	4.7029	0.03480
Defogliaz	1	319542	319542	51.8118	2.649e-09
Diradam	1	30829	30829	4.9987	0.02977
ESPOSIZ	1	7547	7547	1.2237	0.27382
CaricaGem:Defogliaz	1	1867	1867	0.3028	0.58455
CaricaGem:ESPOSIZ	1	750	750	0.1217	0.72869
Defogliaz:ESPOSIZ	1	10513	10513	1.7045	0.19755
Diradam:ESPOSIZ	1	11664	11664	1.8913	0.17507
CaricaGem:Defogliaz:ESPOSIZ	1	35644	35644	5.7795	0.01989
Residuals	51	314536	6167		

Tempo ***
CaricaGem *
Defogliaz ***
Diradam *
ESPOSIZ
CaricaGem:Defogliaz
CaricaGem:ESPOSIZ
Defogliaz:ESPOSIZ
Diradam:ESPOSIZ
CaricaGem:Defogliaz:ESPOSIZ *
Residuals

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

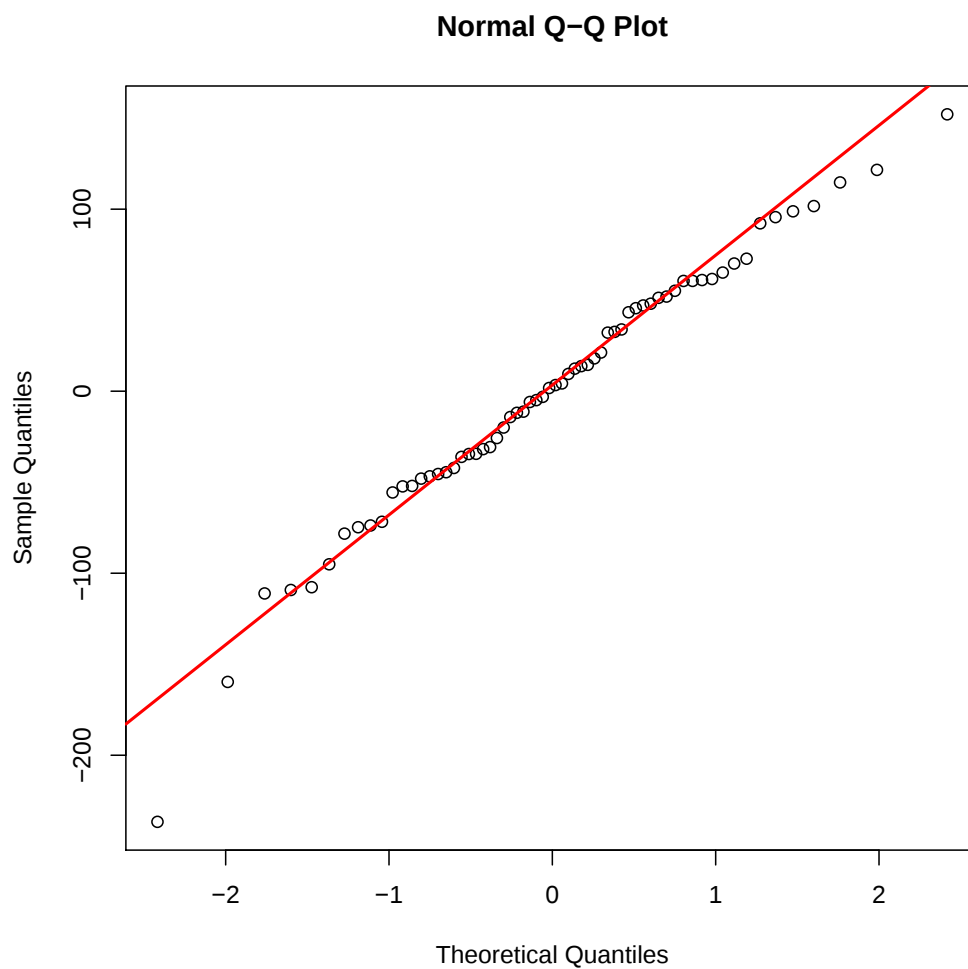


Figura 94: Analisi dei Residui: Q-Q Plot - Modello 0 - ANTHG - Brolio

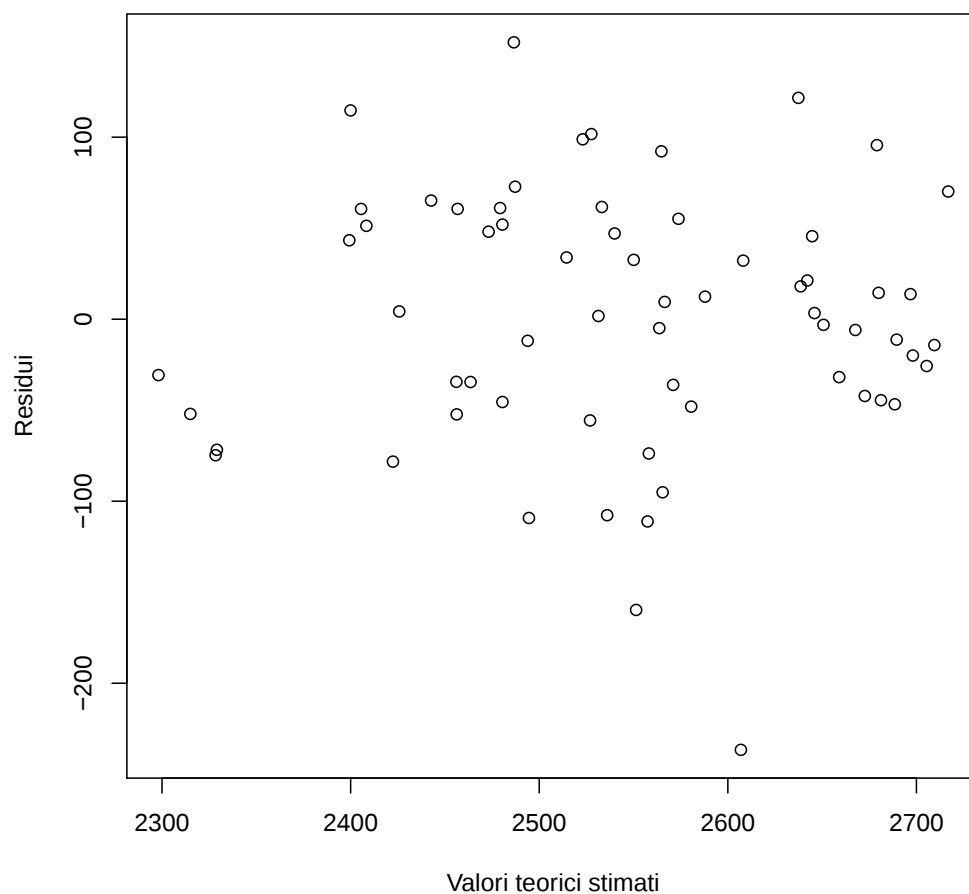


Figura 95: Analisi dei residui: Residui vs Valori teorici stimati - Modello 0 - ANTHG - Brolio

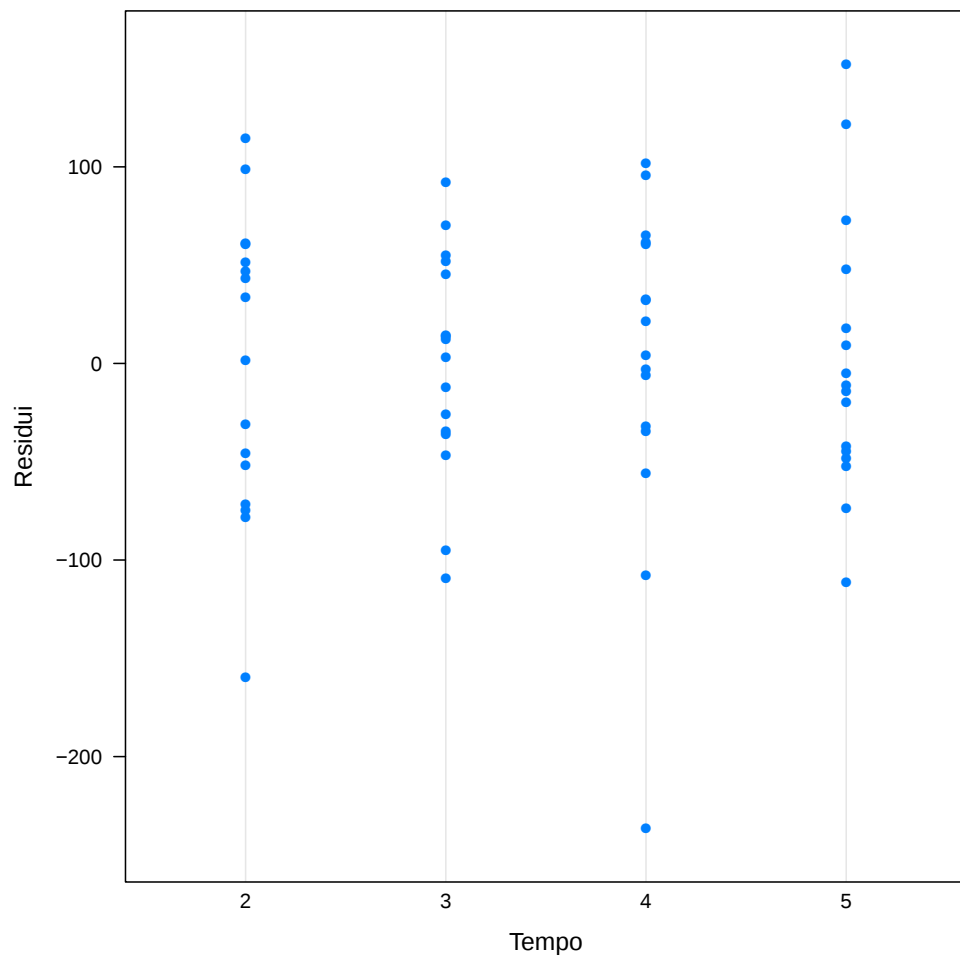


Figura 96: Analisi dei residui: Residui vs Tempo - Modello 0 - ANTHG - Brolio

6.9 ANOVA per ANTHBG - Modello completo

Call:

```
lm(formula = ANTHBG ~ Tempo + CaricaGem + Defogliaz + Diradam +  
    ESPOSIZ + CaricaGem:Defogliaz + CaricaGem:ESPOSIZ + Defogliaz:ESPOSIZ +  
    CaricaGem:Defogliaz:ESPOSIZ, data = BRDF4)
```

Residuals:

Min	1Q	Median	3Q	Max
-95.333	-20.741	0.797	23.107	92.197

Coefficients:

	Estimate	Std. Error	t value
(Intercept)	837.92	82.20	10.193
Tempo3	-30.74	15.97	-1.925
Tempo4	-96.24	15.97	-6.027
Tempo5	-147.70	15.97	-9.250
CaricaGem	88.17	50.50	1.746
Defogliaz	13.22	50.50	0.262
Diradam	-22.07	11.29	-1.955
ESPOSIZ2	-210.10	112.92	-1.861
CaricaGem:Defogliaz	-43.39	31.94	-1.358
CaricaGem:ESPOSIZ2	94.29	71.41	1.320
Defogliaz:ESPOSIZ2	122.16	71.41	1.711
CaricaGem:Defogliaz:ESPOSIZ2	-59.53	45.17	-1.318

Pr(>|t|)

(Intercept)	5.35e-14 ***
Tempo3	0.0597 .
Tempo4	1.75e-07 ***
Tempo5	1.43e-12 ***
CaricaGem	0.0867 .
Defogliaz	0.7946
Diradam	0.0560 .
ESPOSIZ2	0.0685 .
CaricaGem:Defogliaz	0.1802
CaricaGem:ESPOSIZ2	0.1925
Defogliaz:ESPOSIZ2	0.0931 .

CaricaGem:Defogliaz:ESP0SIZ2 0.1933

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 45.17 on 52 degrees of freedom

Multiple R-squared: 0.7283, Adjusted R-squared: 0.6708

F-statistic: 12.67 on 11 and 52 DF, p-value: 3.455e-11

Analysis of Variance Table

Response: ANTHBG

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
Tempo	3	210579	70193	34.4078	2.151e-12
CaricaGem	1	10477	10477	5.1356	0.027629
Defogliaz	1	20085	20085	9.8456	0.002803
Diradam	1	7795	7795	3.8211	0.055997
ESPOSIZ	1	6006	6006	2.9441	0.092144
CaricaGem:Defogliaz	1	21404	21404	10.4921	0.002092
CaricaGem:ESPOSIZ	1	100	100	0.0488	0.826038
Defogliaz:ESPOSIZ	1	4319	4319	2.1173	0.151649
CaricaGem:Defogliaz:ESPOSIZ	1	3544	3544	1.7372	0.193269
Residuals	52	106082	2040		

Tempo	***
CaricaGem	*
Defogliaz	**
Diradam	.
ESPOSIZ	.
CaricaGem:Defogliaz	**
CaricaGem:ESPOSIZ	
Defogliaz:ESPOSIZ	
CaricaGem:Defogliaz:ESPOSIZ	
Residuals	

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

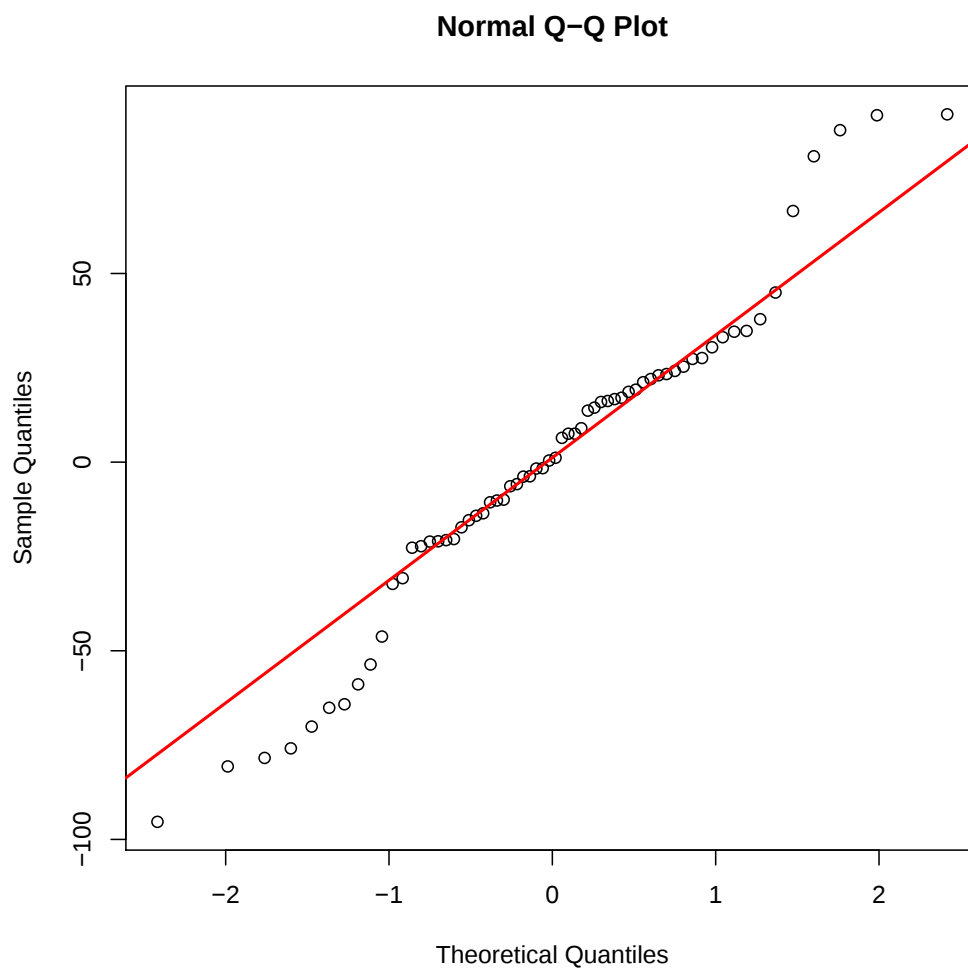


Figura 97: Analisi dei Residui: Q-Q Plot - Modello 0 - ANTHBG - Brolio

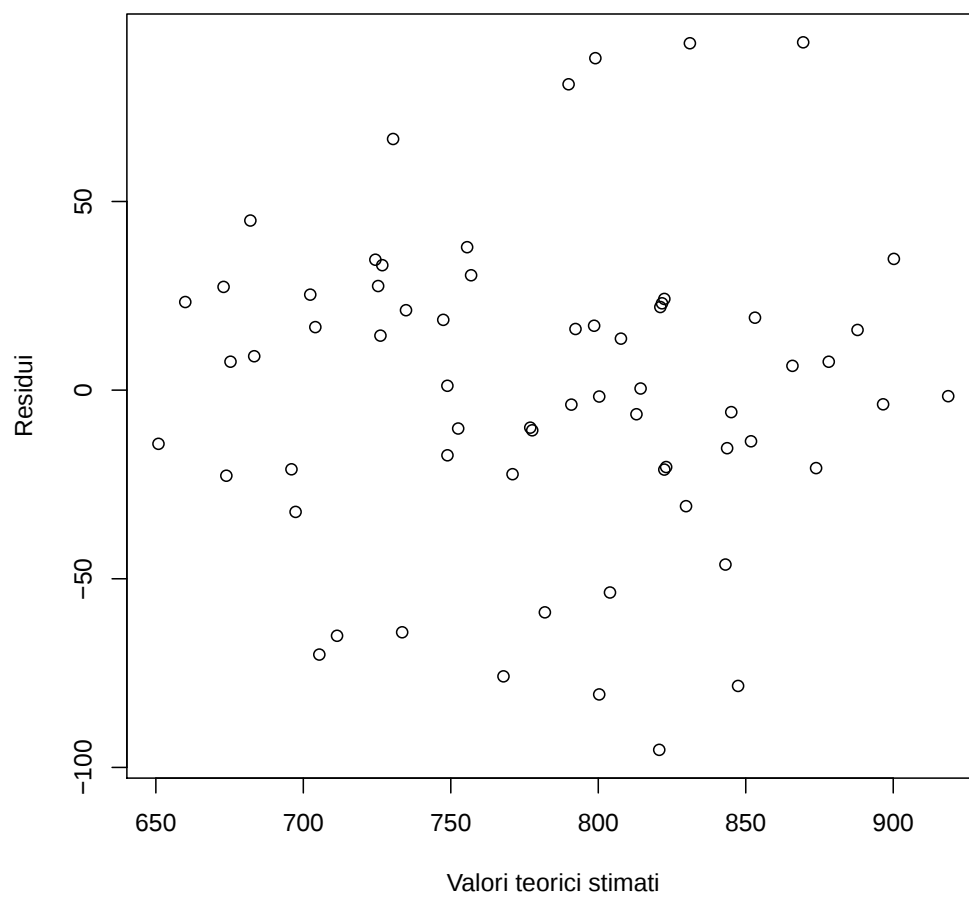


Figura 98: Analisi dei residui: Residui vs Valori teorici stimati - Modello 0 - ANTHBG - Brolio

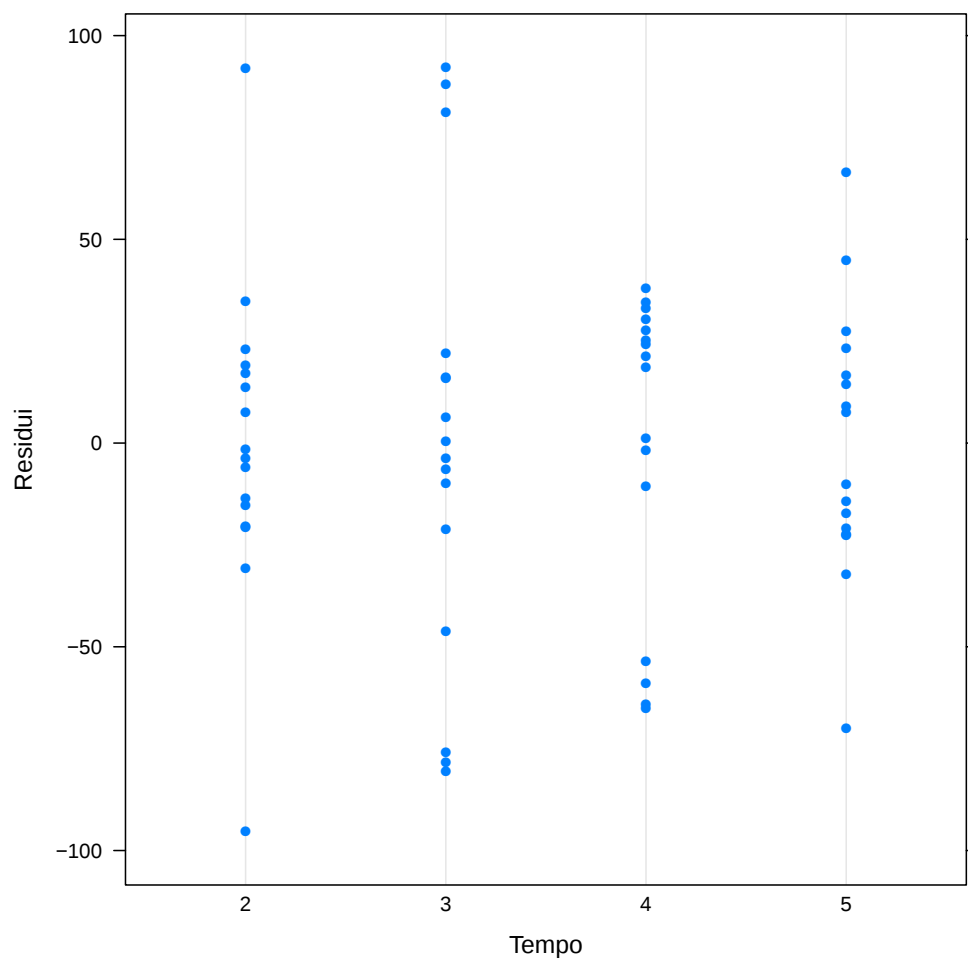


Figura 99: Analisi dei residui: Residui vs Tempo - Modello 0 - ANTHBG - Brolio

6.10 ANOVA per SFRR - Modello ridotto

Call:

```
lm(formula = SFRR ~ Tempo + Defogliaz, data = BRDF4)
```

Residuals:

	Min	1Q	Median	3Q	Max
	-794.84	-155.59	25.31	154.44	710.10

Coefficients:

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	5015.46	125.94	39.824	< 2e-16 ***
Tempo3	-533.17	98.80	-5.397	1.26e-06 ***
Tempo4	-600.98	98.80	-6.083	9.41e-08 ***
Tempo5	-1449.54	98.80	-14.672	< 2e-16 ***
Defogliaz	-285.29	69.86	-4.084	0.000135 ***

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 279.4 on 59 degrees of freedom

Multiple R-squared: 0.801, Adjusted R-squared: 0.7875

F-statistic: 59.38 on 4 and 59 DF, p-value: < 2.2e-16

Analysis of Variance Table

Response: SFRR

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
Tempo	3	17243968	5747989	73.612	< 2.2e-16 ***
Defogliaz	1	1302256	1302256	16.677	0.0001353 ***
Residuals	59	4606999	78085		

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

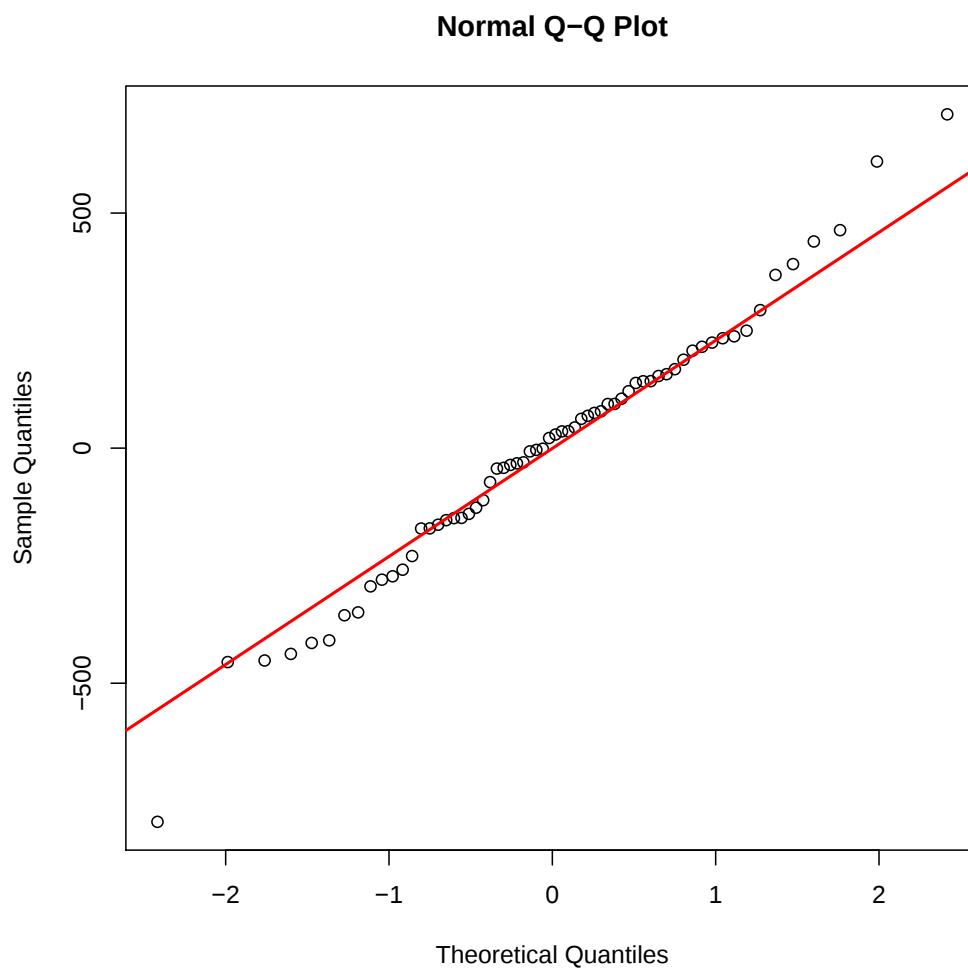


Figura 100: Analisi dei Residui: Q-Q Plot - Modello 1 - SFRR - Brolio

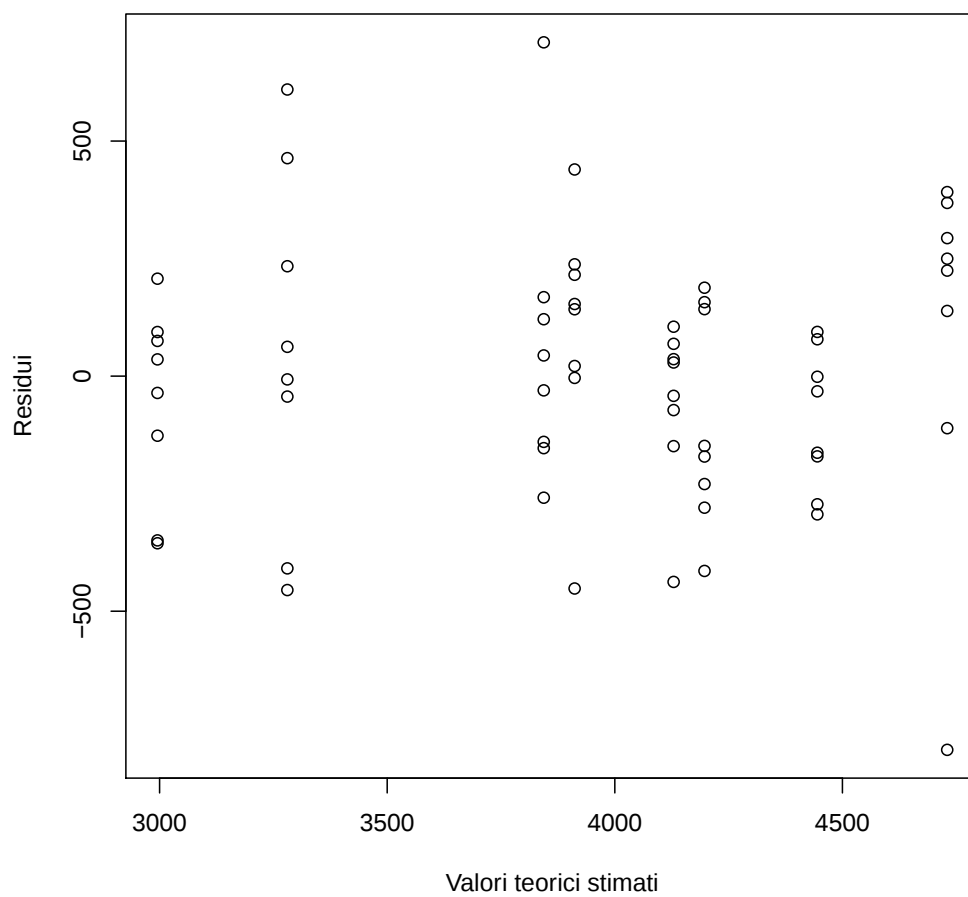


Figura 101: Analisi dei residui: Residui vs Valori teorici stimati - Modello 1
- SFRR - Brolio

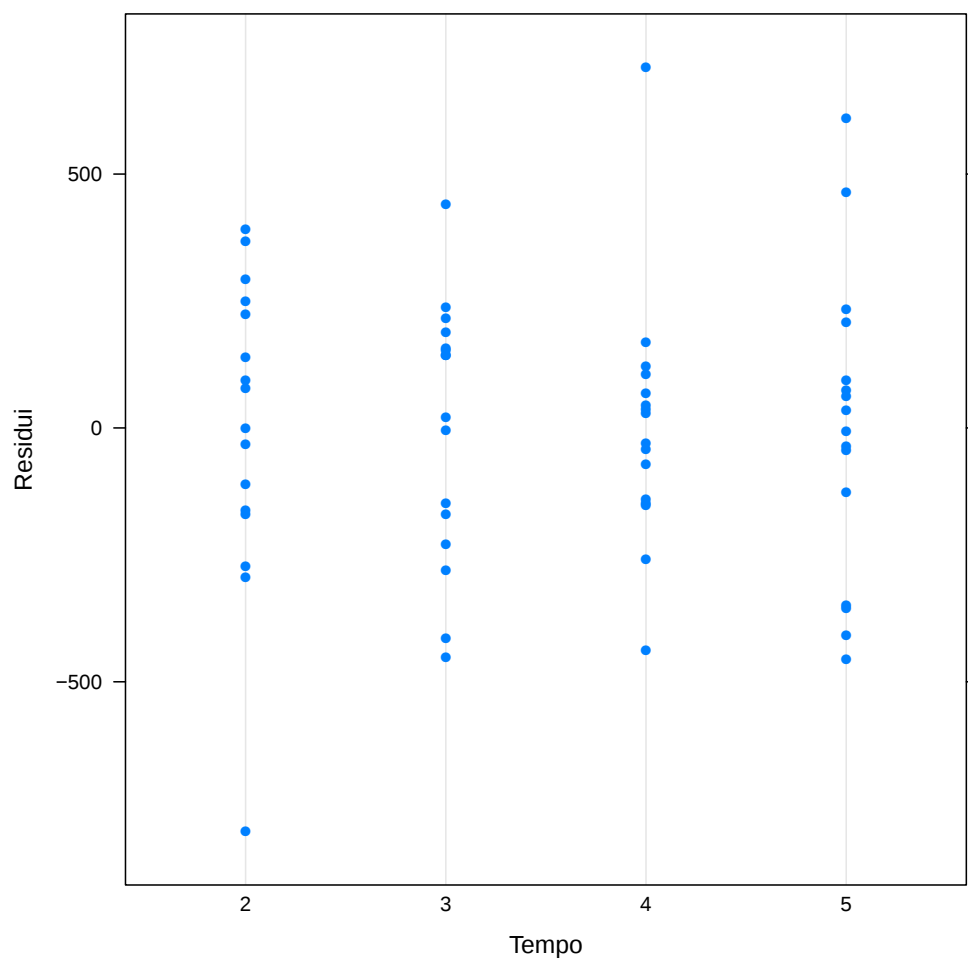


Figura 102: Analisi dei residui: Residui vs Tempo - Modello 1 - SFRR - Brolio

6.11 ANOVA per ANTHRG - Modello ridotto

Call:

```
lm(formula = ANTHRG ~ Tempo, data = BRDF4)
```

Residuals:

Min	1Q	Median	3Q	Max
-212.933	-34.166	-1.922	38.944	167.321

Coefficients:

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	1233.93	18.99	64.965	< 2e-16 ***
Tempo3	75.58	26.86	2.814	0.00662 **
Tempo4	-34.59	26.86	-1.288	0.20282
Tempo5	-79.47	26.86	-2.958	0.00442 **

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 75.98 on 60 degrees of freedom

Multiple R-squared: 0.3726, Adjusted R-squared: 0.3412

F-statistic: 11.88 on 3 and 60 DF, p-value: 3.316e-06

Analysis of Variance Table

Response: ANTHRG

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
Tempo	3	205642	68547	11.875	3.316e-06 ***
Residuals	60	346332	5772		

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

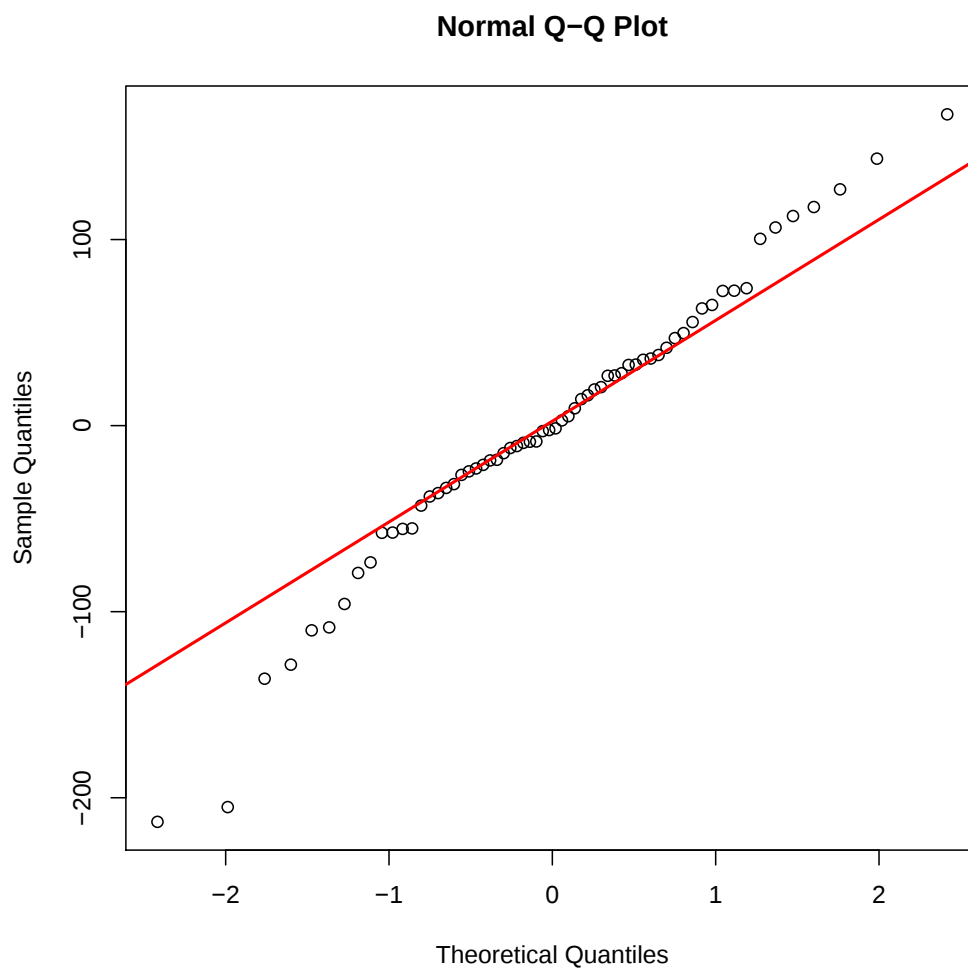


Figura 103: Analisi dei Residui: Q-Q Plot - Modello 1 - ANTHRG - Brolio

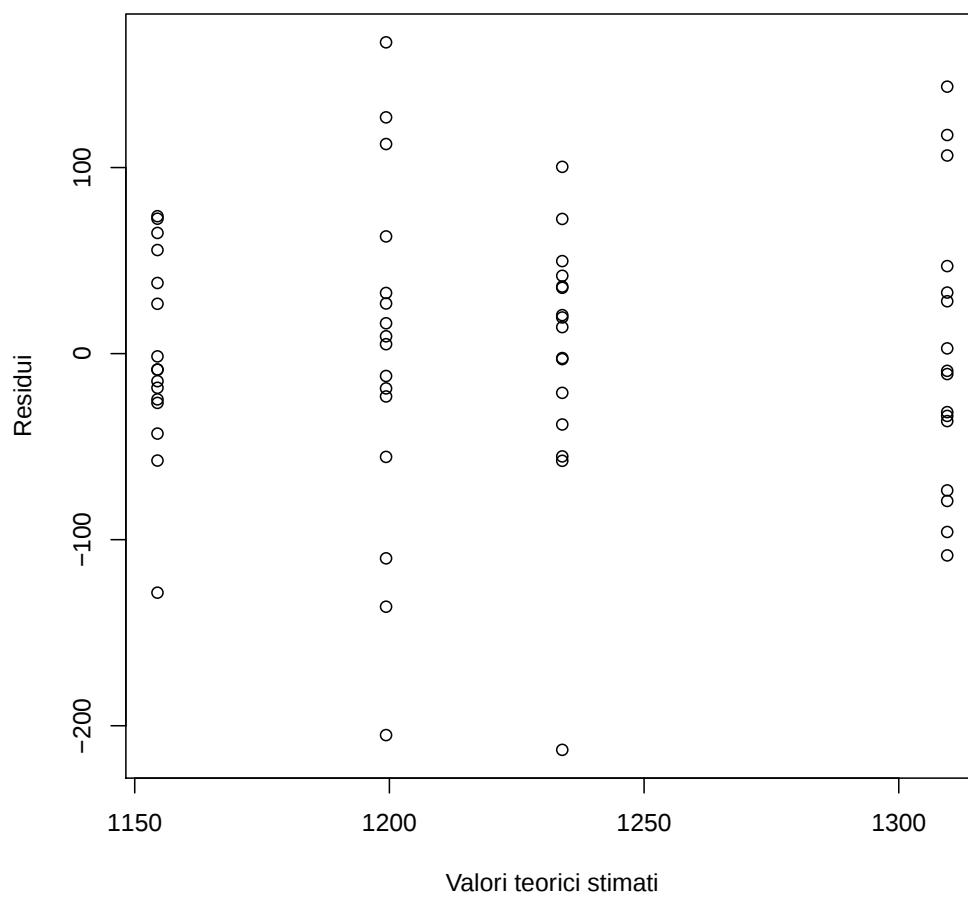


Figura 104: Analisi dei residui: Residui vs Valori teorici stimati - Modello 1
- ANTHRG - Brolio

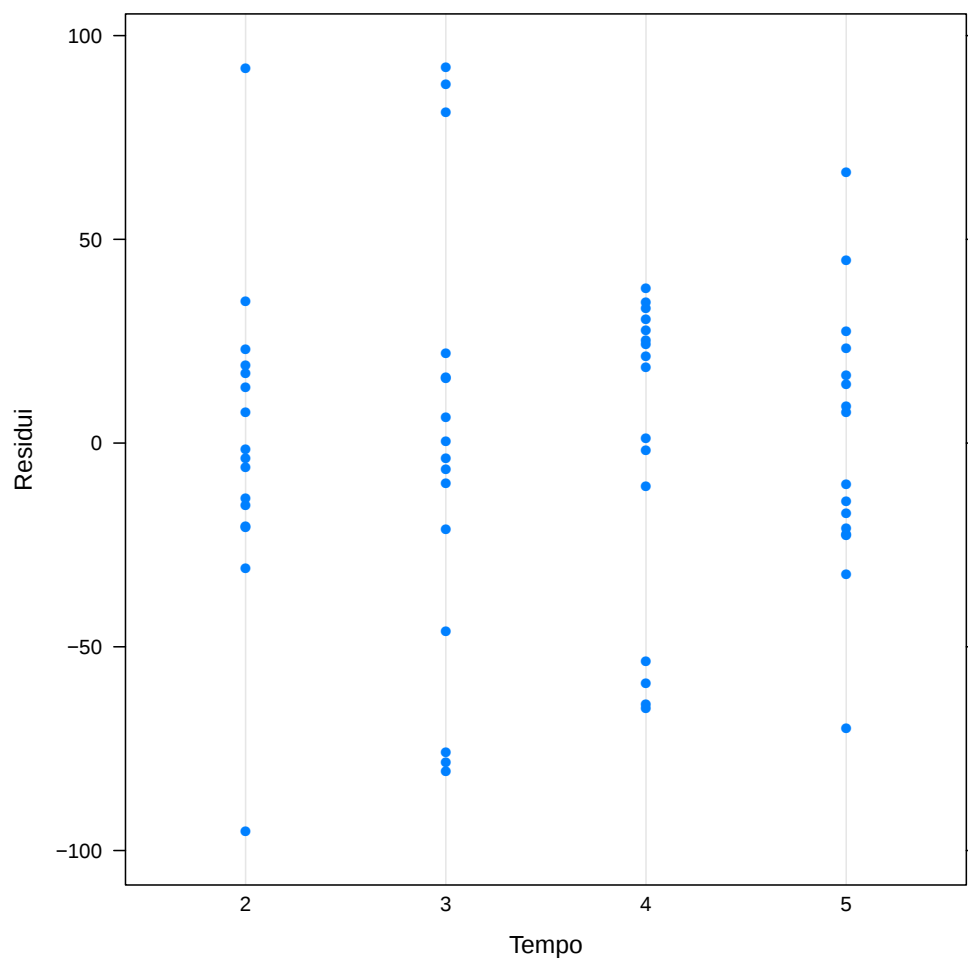


Figura 105: Analisi dei residui: Residui vs Tempo - Modello 1 - ANTHRG - Brolio

6.12 ANOVA per ANTHR - Modello ridotto

Call:

```
lm(formula = ANTHR ~ Tempo + CaricaGem + Defogliaz + Diradam,
    data = BRDF4)
```

Residuals:

Min	1Q	Median	3Q	Max
-258.26	-39.46	10.57	51.39	142.78

Coefficients:

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	1050.81	61.77	17.012	< 2e-16 ***
Tempo3	89.89	31.38	2.865	0.00583 **
Tempo4	162.28	31.38	5.172	3.11e-06 ***
Tempo5	237.60	31.38	7.572	3.54e-10 ***
CaricaGem	-66.93	22.19	-3.016	0.00382 **
Defogliaz	121.89	22.19	5.494	9.55e-07 ***
Diradam	43.79	22.19	1.974	0.05326 .

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 88.75 on 57 degrees of freedom

Multiple R-squared: 0.6502, Adjusted R-squared: 0.6134

F-statistic: 17.66 on 6 and 57 DF, p-value: 1.971e-11

Analysis of Variance Table

Response: ANTHR

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)	
Tempo	3	494391	164797	20.9217	2.896e-09	***
CaricaGem	1	71665	71665	9.0981	0.003818	**
Defogliaz	1	237714	237714	30.1789	9.554e-07	***
Diradam	1	30688	30688	3.8960	0.053256	.
Residuals	57	448979	7877			

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

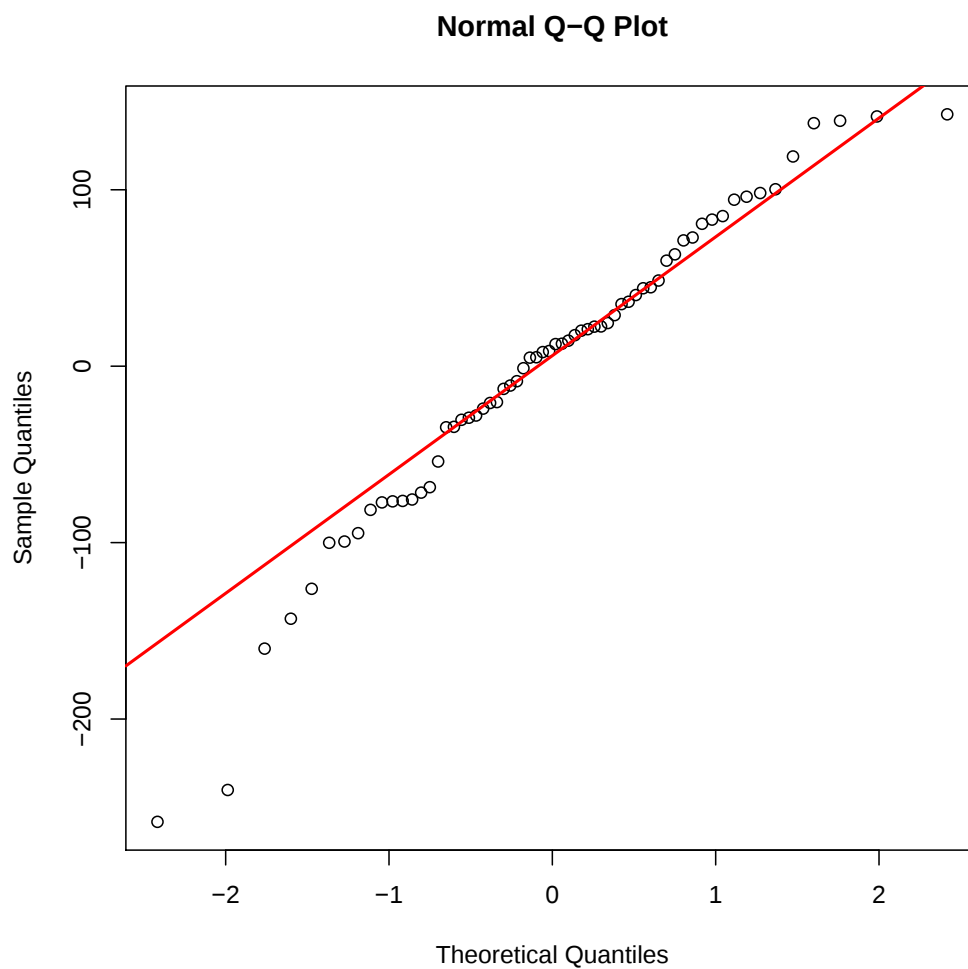


Figura 106: Analisi dei Residui: Q-Q Plot - Modello 1 - ANTHR - Brolio

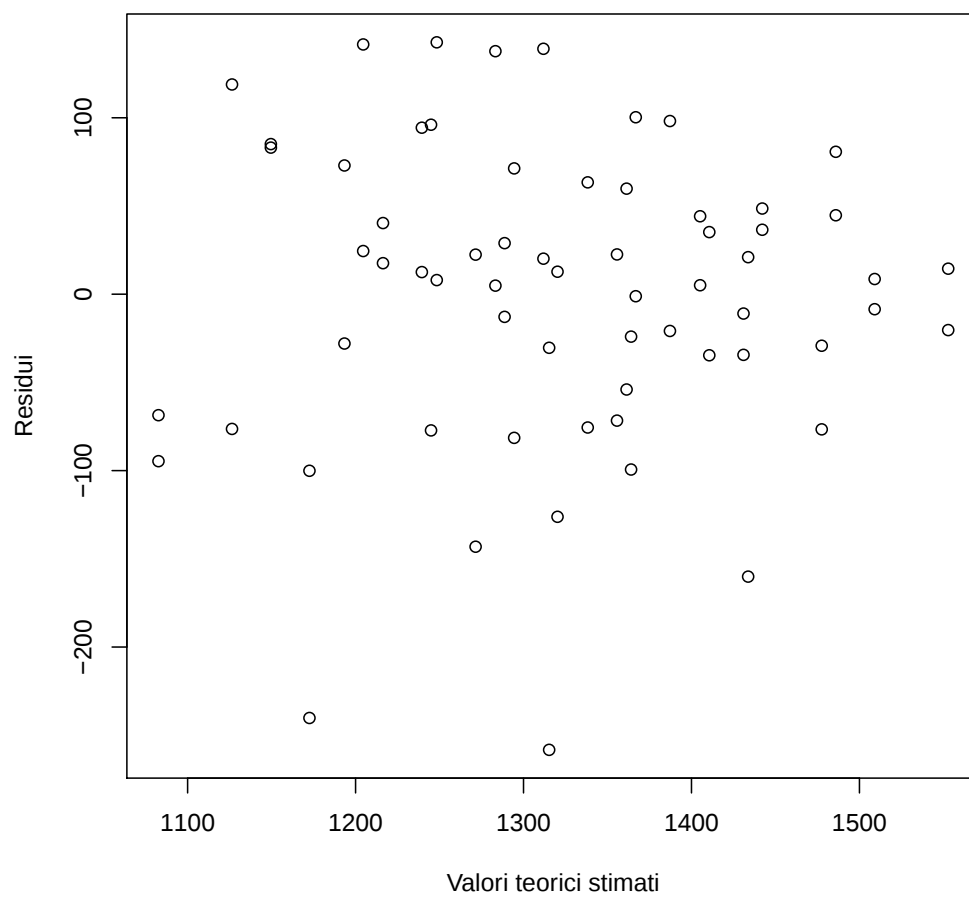


Figura 107: Analisi dei residui: Residui vs Valori teorici stimati - Modello 1
- ANTHR - Brolio

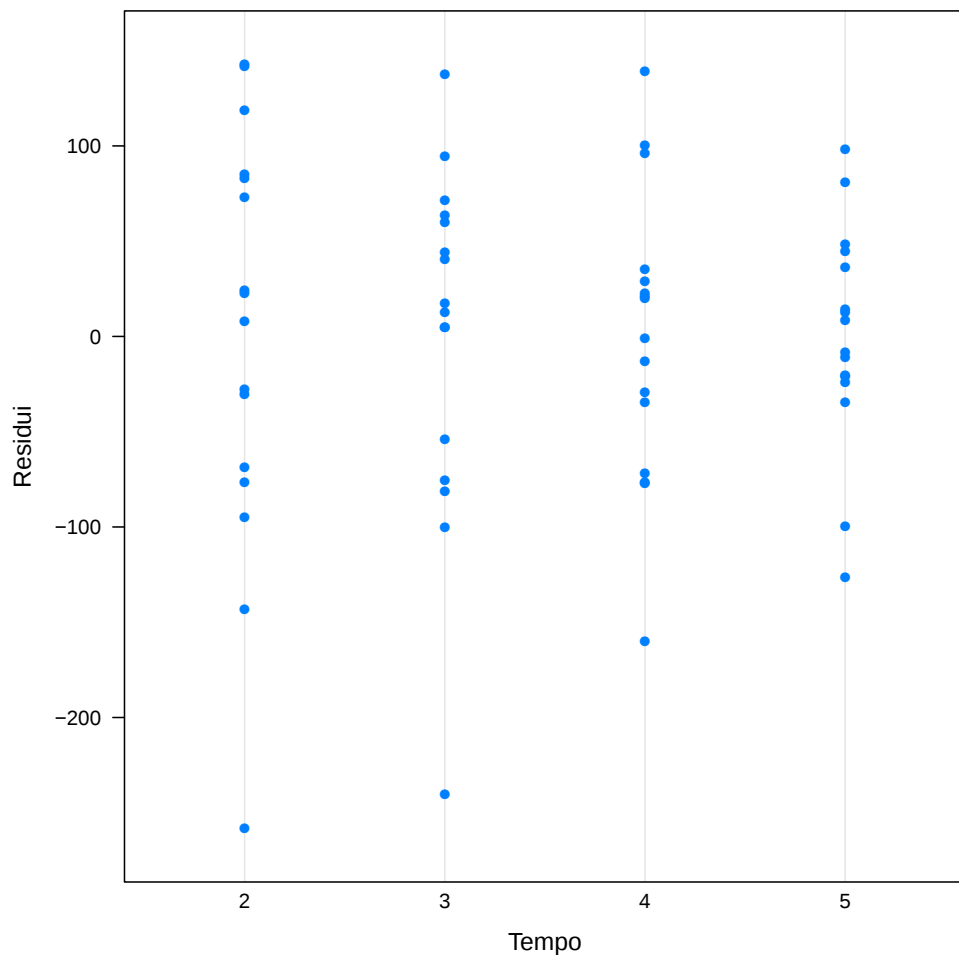


Figura 108: Analisi dei residui: Residui vs Tempo - Modello 1 - ANTHR - Brolio

6.13 ANOVA per ANTHRB - Modello ridotto

Call:

```
lm(formula = ANTHRB ~ Tempo + Defogliaz + Diradam + ESPOSIZ,
    data = BRDF4)
```

Residuals:

Min	1Q	Median	3Q	Max
-149.055	-26.744	2.501	26.141	146.426

Coefficients:

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)	
(Intercept)	256.13	33.04	7.752	1.78e-10	***
Tempo3	106.25	19.49	5.453	1.11e-06	***
Tempo4	61.55	19.49	3.159	0.002536	**
Tempo5	68.22	19.49	3.501	0.000907	***
Defogliaz	54.82	13.78	3.978	0.000198	***
Diradam	22.07	13.78	1.602	0.114656	
ESPOSIZ2	25.94	13.78	1.882	0.064892	.

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 55.11 on 57 degrees of freedom

Multiple R-squared: 0.4795, Adjusted R-squared: 0.4247

F-statistic: 8.752 on 6 and 57 DF, p-value: 9.206e-07

Analysis of Variance Table

Response: ANTHRB

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)	
Tempo	3	92878	30959	10.1924	1.797e-05	***
Defogliaz	1	48075	48075	15.8273	0.0001982	***
Diradam	1	7797	7797	2.5668	0.1146558	
ESP0SIZ	1	10763	10763	3.5434	0.0648921	.
Residuals	57	173137	3037			

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

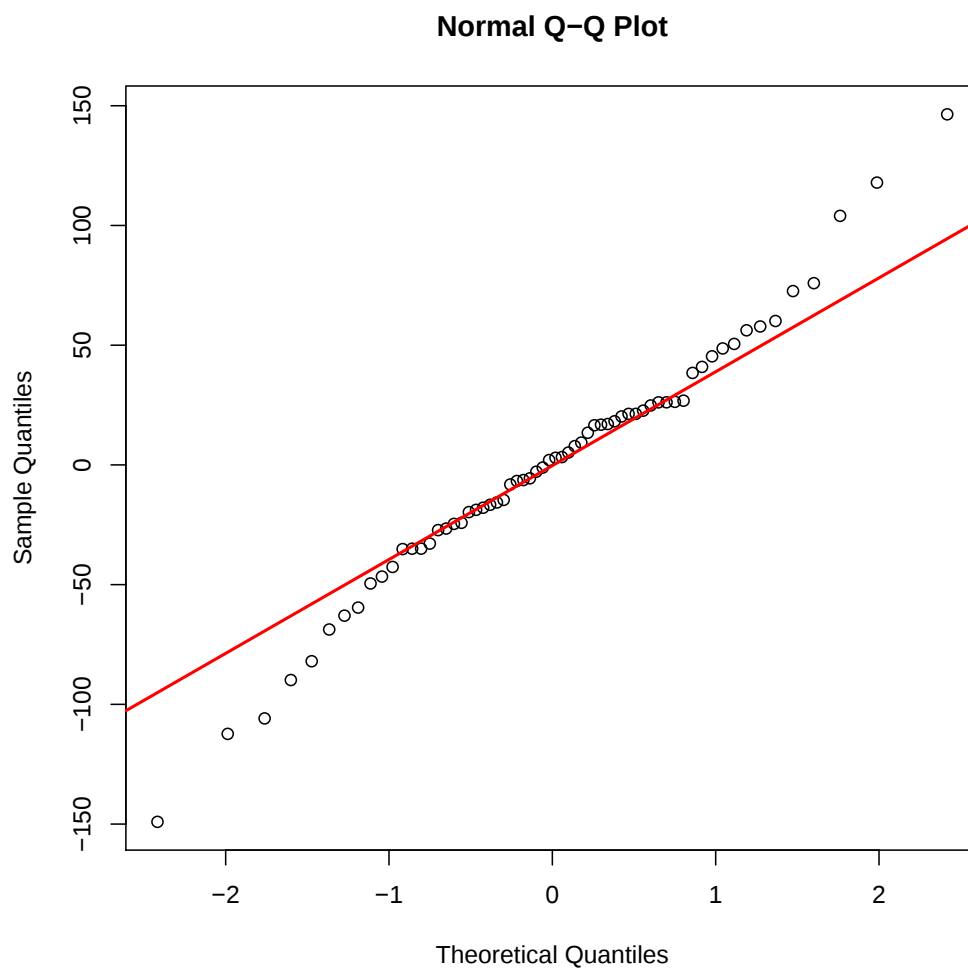


Figura 109: Analisi dei Residui: Q-Q Plot - Modello 1 - ANTHRB - Brolio

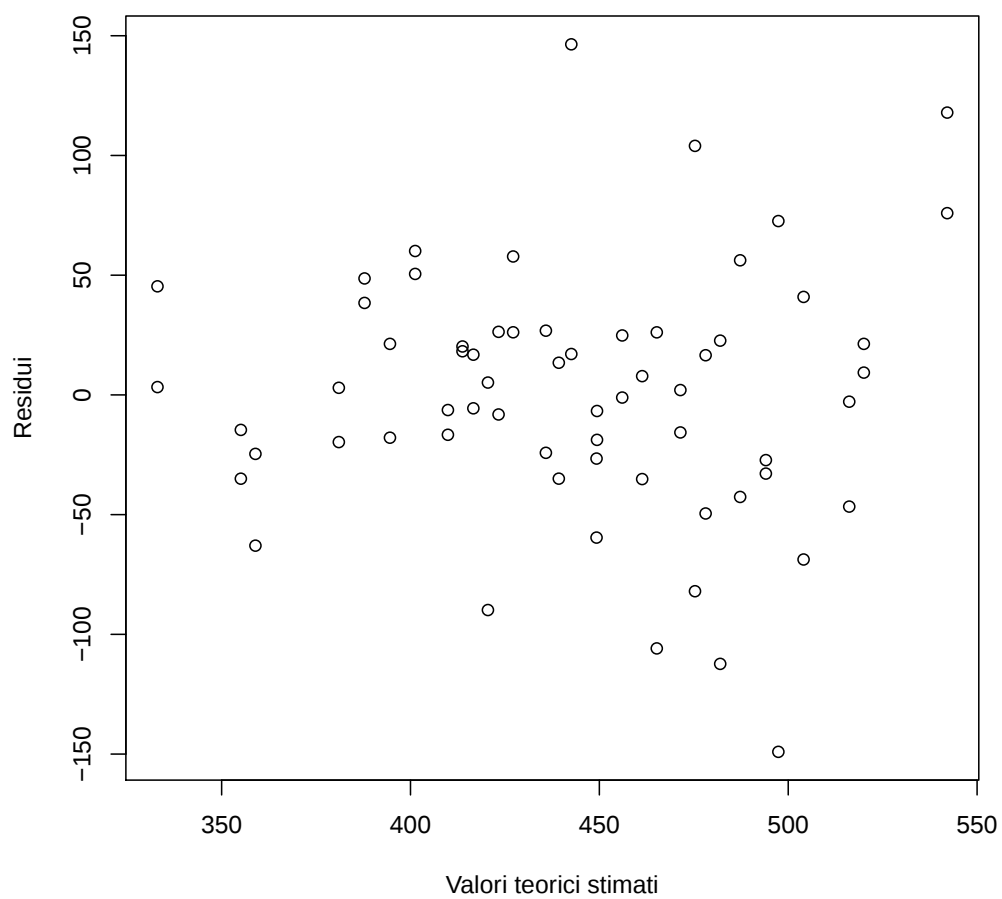


Figura 110: Analisi dei residui: Residui vs Valori teorici stimati - Modello 1
- ANTHRB - Brolio

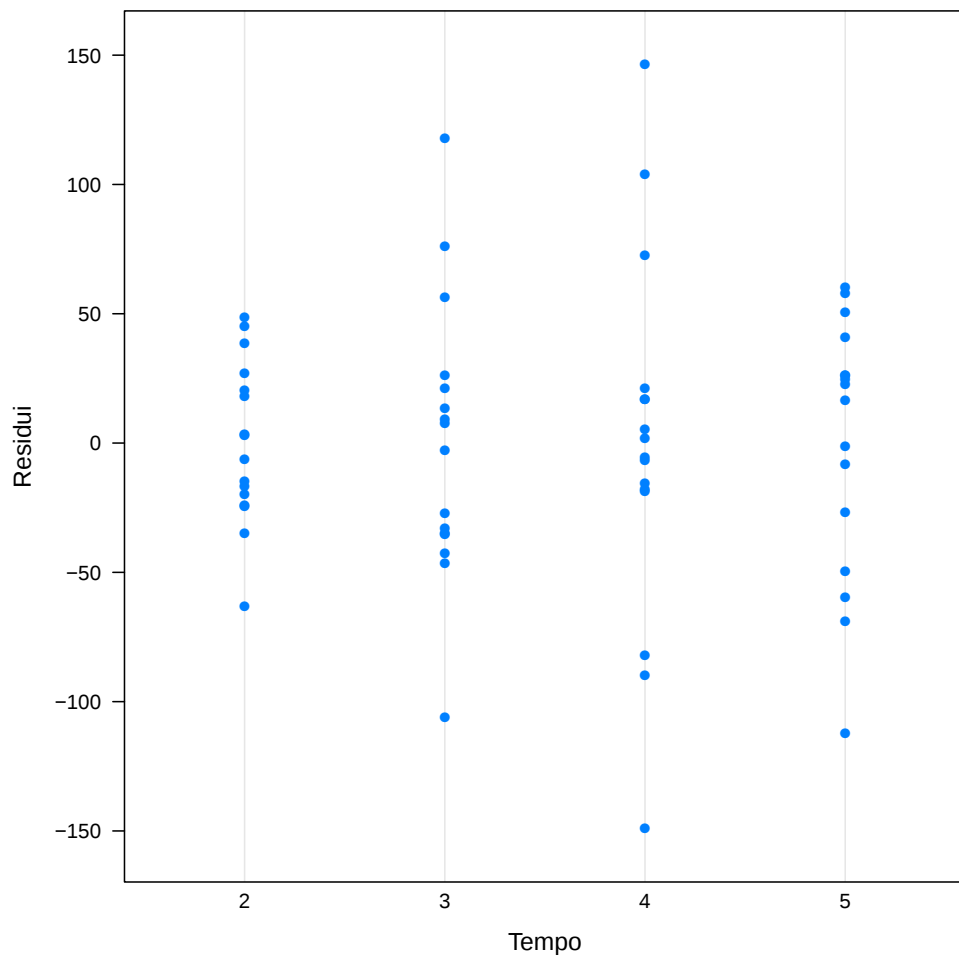


Figura 111: Analisi dei residui: Residui vs Tempo - Modello 1 - ANTHRB - Brolio

6.14 ANOVA per ANTHB - Modello ridotto

Call:

```
lm(formula = ANTHB ~ Tempo + CaricaGem + Defogliaz + Diradam,
    data = BRDF4)
```

Residuals:

Min	1Q	Median	3Q	Max
-270.324	-58.337	-0.207	56.162	206.310

Coefficients:

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	1321.50	67.49	19.580	< 2e-16 ***
Tempo3	196.29	34.29	5.725	4.04e-07 ***
Tempo4	223.95	34.29	6.532	1.91e-08 ***
Tempo5	305.79	34.29	8.919	2.10e-12 ***
CaricaGem	-68.09	24.24	-2.808	0.00681 **
Defogliaz	176.76	24.24	7.291	1.04e-09 ***
Diradam	65.86	24.24	2.717	0.00871 **

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 96.97 on 57 degrees of freedom

Multiple R-squared: 0.7301, Adjusted R-squared: 0.7017

F-statistic: 25.7 on 6 and 57 DF, p-value: 1.512e-14

Analysis of Variance Table

Response: ANTHB

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)	
Tempo	3	806563	268854	28.5899	2.065e-11	***
CaricaGem	1	74170	74170	7.8872	0.006806	**
Defogliaz	1	499901	499901	53.1595	1.041e-09	***
Diradam	1	69410	69410	7.3810	0.008713	**
Residuals	57	536017	9404			

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

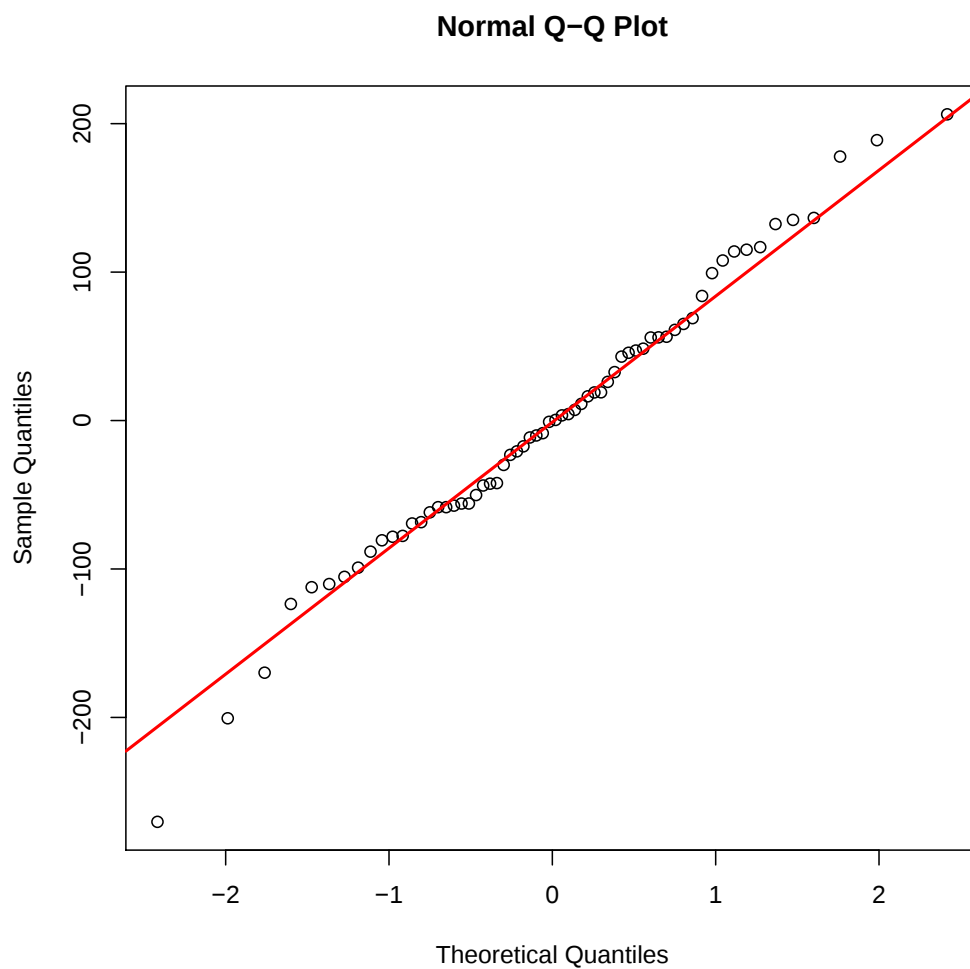


Figura 112: Analisi dei Residui: Q-Q Plot - Modello 1 - ANTHB - Brolio

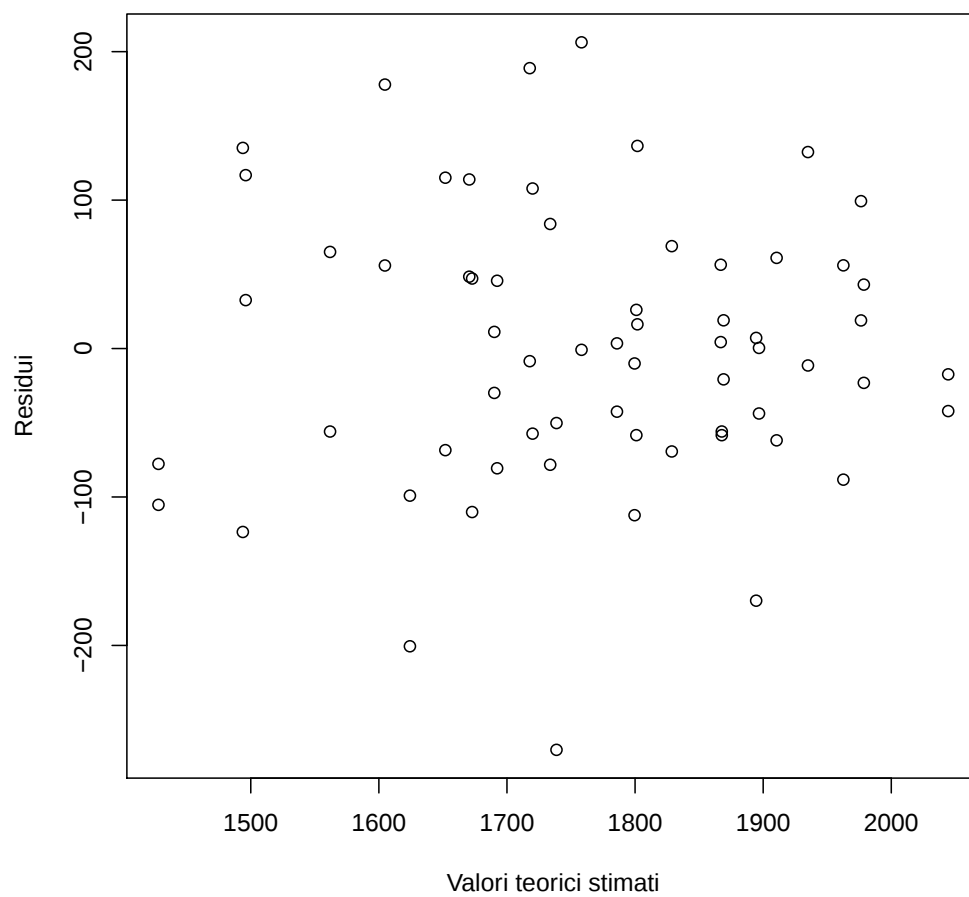


Figura 113: Analisi dei residui: Residui vs Valori teorici stimati - Modello 1
- ANTHB - Brolio

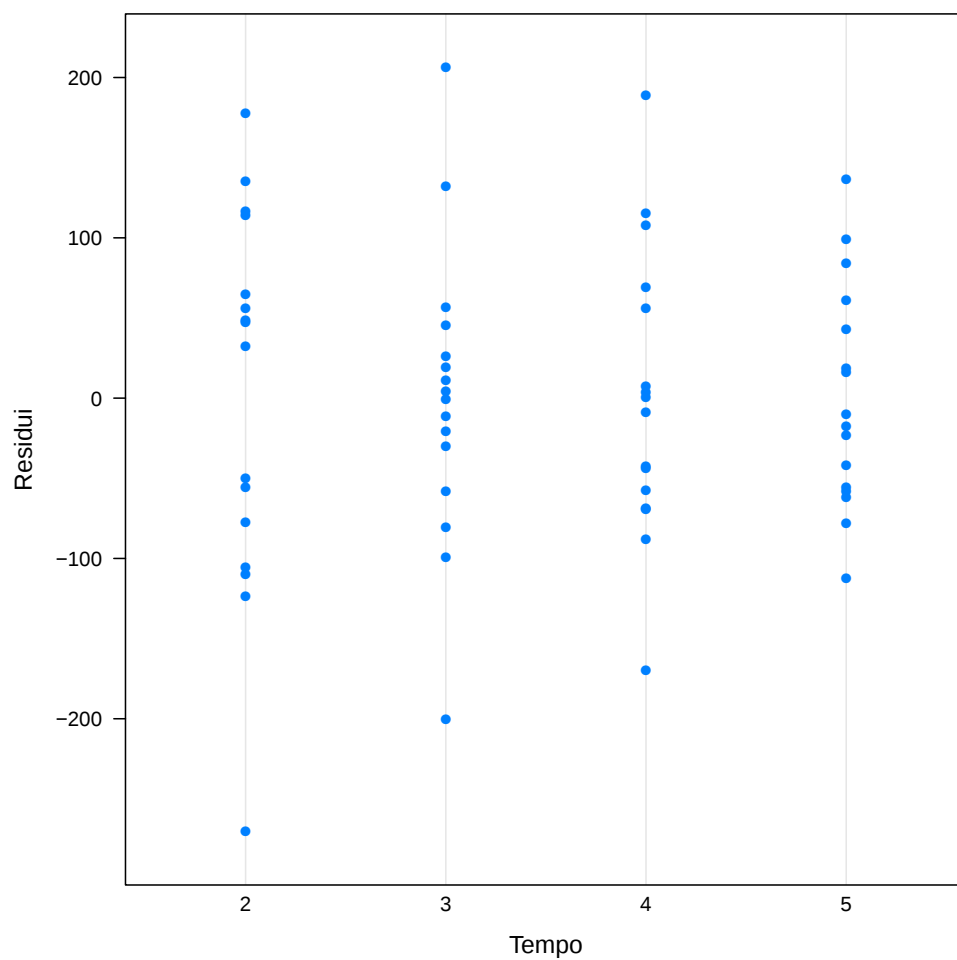


Figura 114: Analisi dei residui: Residui vs Tempo - Modello 1 - ANTHB - Brolio

6.15 ANOVA per ANTHRUV - Modello ridotto

Call:

```
lm(formula = ANTHRUV ~ Tempo + Defogliaz + ESPOSIZ, data = BRDF4)
```

Residuals:

Min	1Q	Median	3Q	Max
-237.391	-59.733	-3.263	42.436	280.190

Coefficients:

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	870.59	41.47	20.994	< 2e-16 ***
Tempo3	-120.84	31.35	-3.855	0.000292 ***
Tempo4	-94.49	31.35	-3.014	0.003816 **
Tempo5	-266.19	31.35	-8.492	9.24e-12 ***
Defogliaz	115.09	22.17	5.192	2.79e-06 ***
ESPOSIZ2	92.72	22.17	4.183	9.87e-05 ***

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 88.67 on 58 degrees of freedom

Multiple R-squared: 0.6715, Adjusted R-squared: 0.6432

F-statistic: 23.72 on 5 and 58 DF, p-value: 6.708e-13

Analysis of Variance Table

Response: ANTHRUUV

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)	
Tempo	3	582776	194259	24.710	1.993e-10	***
Defogliaz	1	211915	211915	26.956	2.793e-06	***
ESPOSIZ	1	137538	137538	17.495	9.867e-05	***
Residuals	58	455968	7862			

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

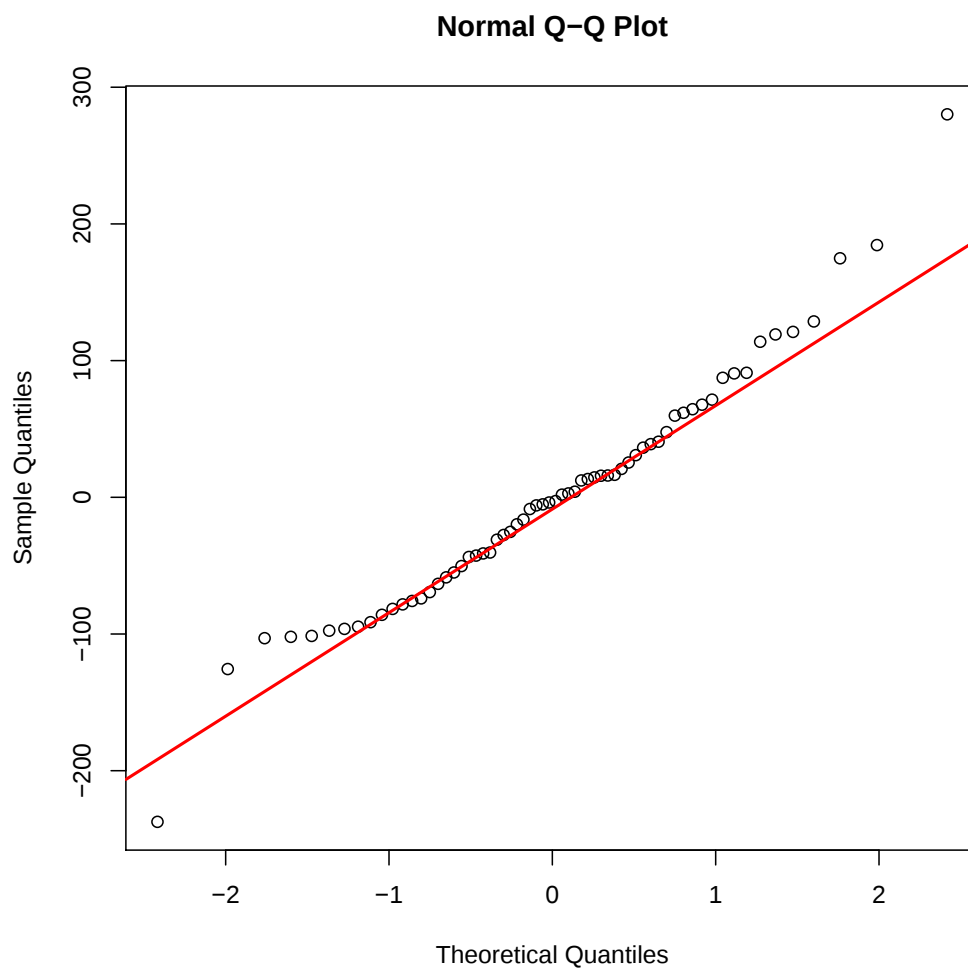


Figura 115: Analisi dei Residui: Q-Q Plot - Modello 1 - ANTHRUV - Brolio

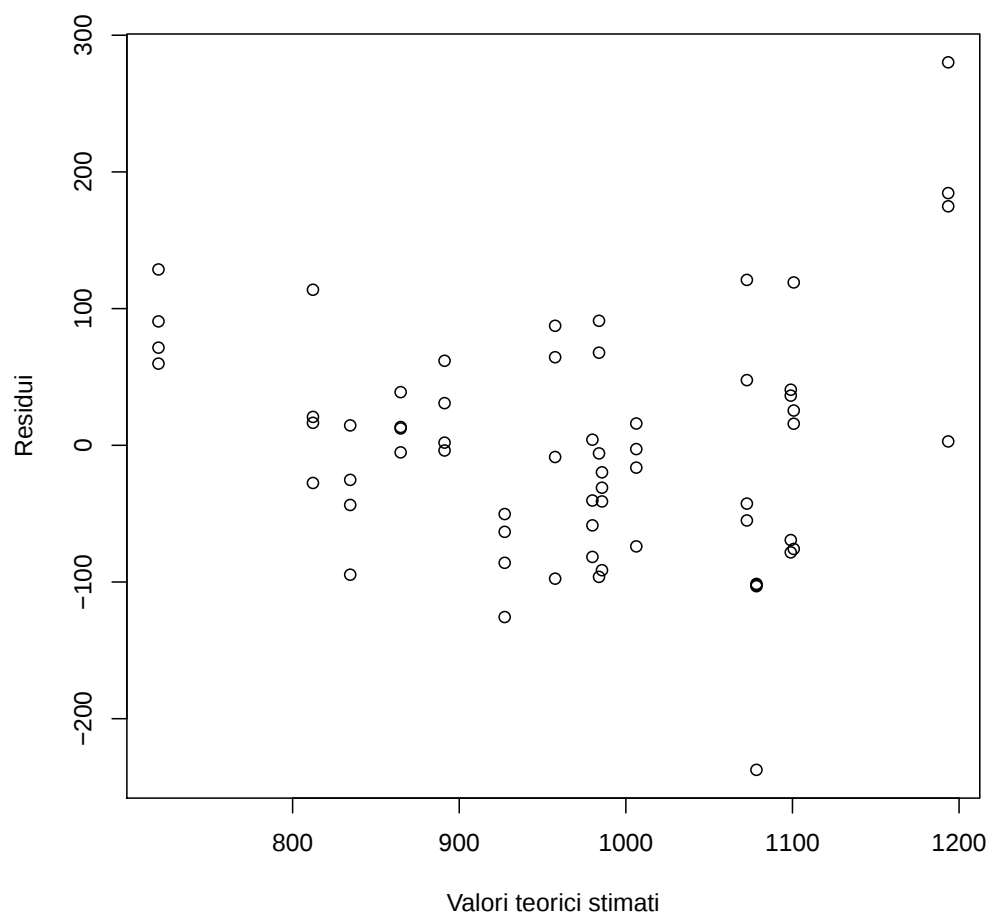


Figura 116: Analisi dei residui: Residui vs Valori teorici stimati - Modello 1
- ANTHRUV - Brolio

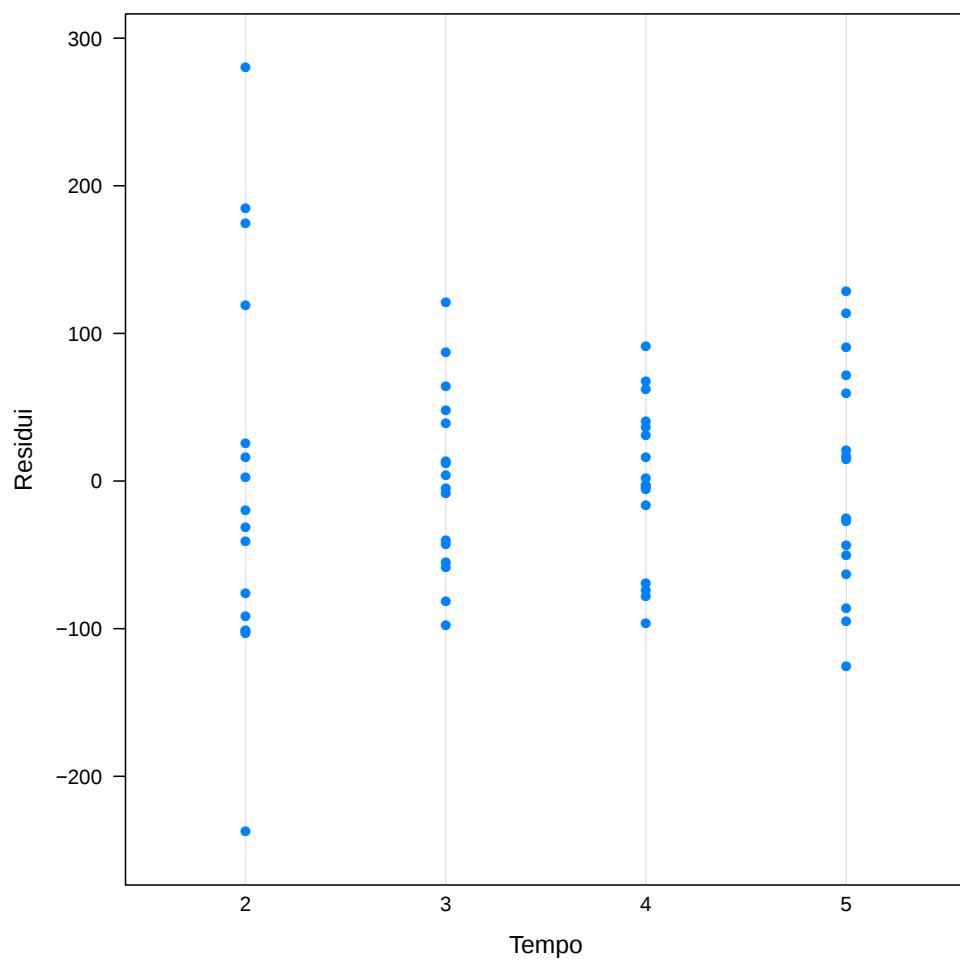


Figura 117: Analisi dei residui: Residui vs Tempo - Modello 1 - ANTHRUV
- Brolio

6.16 ANOVA per ANTHUV - Modello ridotto

Call:

```
lm(formula = ANTHUV ~ Tempo + CaricaGem + Defogliaz + Diradam +
    ESPOSIZ, data = BRDF4)
```

Residuals:

Min	1Q	Median	3Q	Max
-311.451	-68.984	0.758	56.355	233.435

Coefficients:

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	1953.24	71.24	27.419	< 2e-16 ***
Tempo3	-30.87	35.62	-0.867	0.38977
Tempo4	67.92	35.62	1.907	0.06168 .
Tempo5	-28.60	35.62	-0.803	0.42543
CaricaGem	-79.25	25.19	-3.147	0.00265 **
Defogliaz	237.00	25.19	9.410	3.95e-13 ***
Diradam	44.24	25.19	1.756	0.08450 .
ESPOSIZ2	64.47	25.19	2.560	0.01319 *

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 100.7 on 56 degrees of freedom

Multiple R-squared: 0.6784, Adjusted R-squared: 0.6382

F-statistic: 16.88 on 7 and 56 DF, p-value: 9.193e-12

Analysis of Variance Table

Response: ANTHUV

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)	
Tempo	3	101854	33951	3.3452	0.025419	*
CaricaGem	1	100491	100491	9.9014	0.002645	**
Defogliaz	1	898723	898723	88.5511	3.948e-13	***
Diradam	1	31308	31308	3.0848	0.084496	.
ESPOSIZ	1	66511	66511	6.5533	0.013195	*
Residuals	56	568355	10149			

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

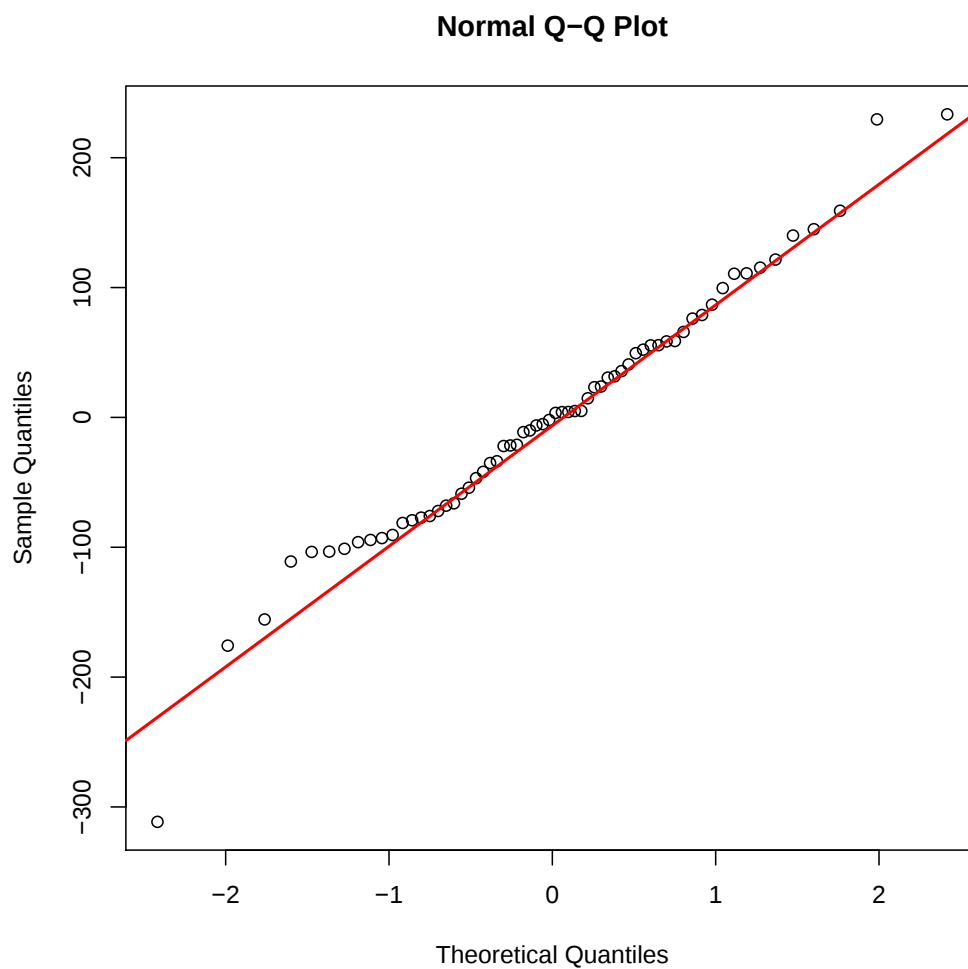


Figura 118: Analisi dei Residui: Q-Q Plot - Modello 1 - ANTHUV - Brolio

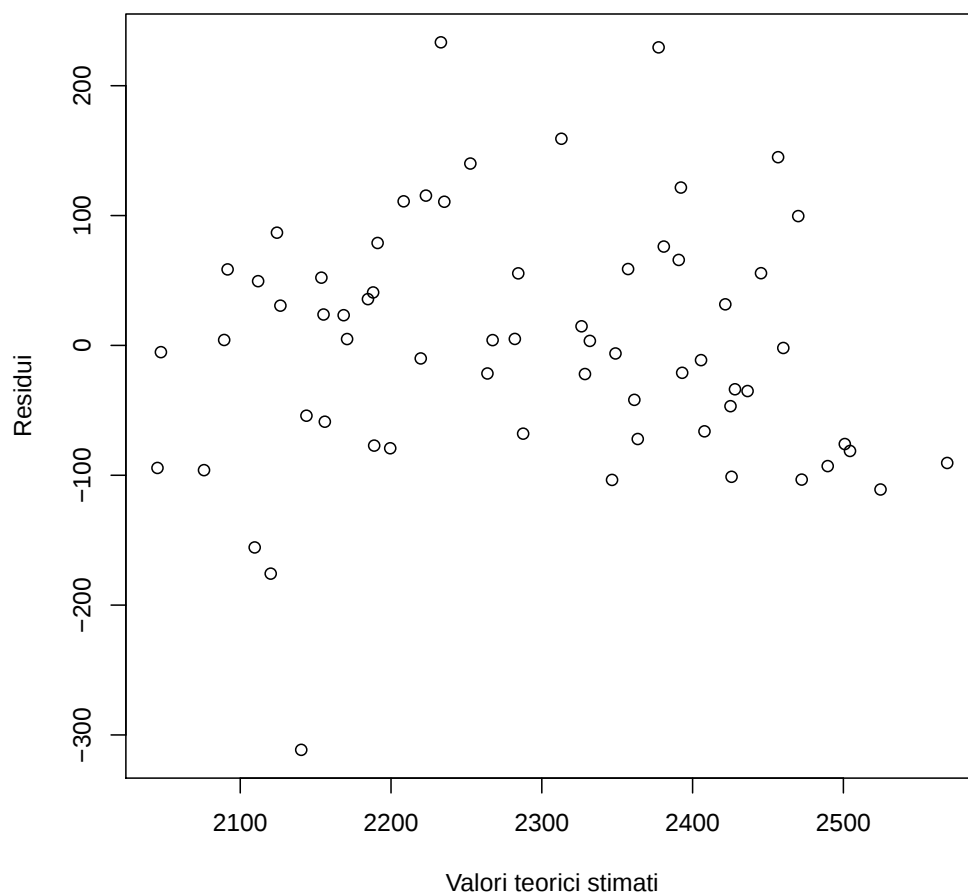


Figura 119: Analisi dei residui: Residui vs Valori teorici stimati - Modello 1
- ANTHUV - Brolio

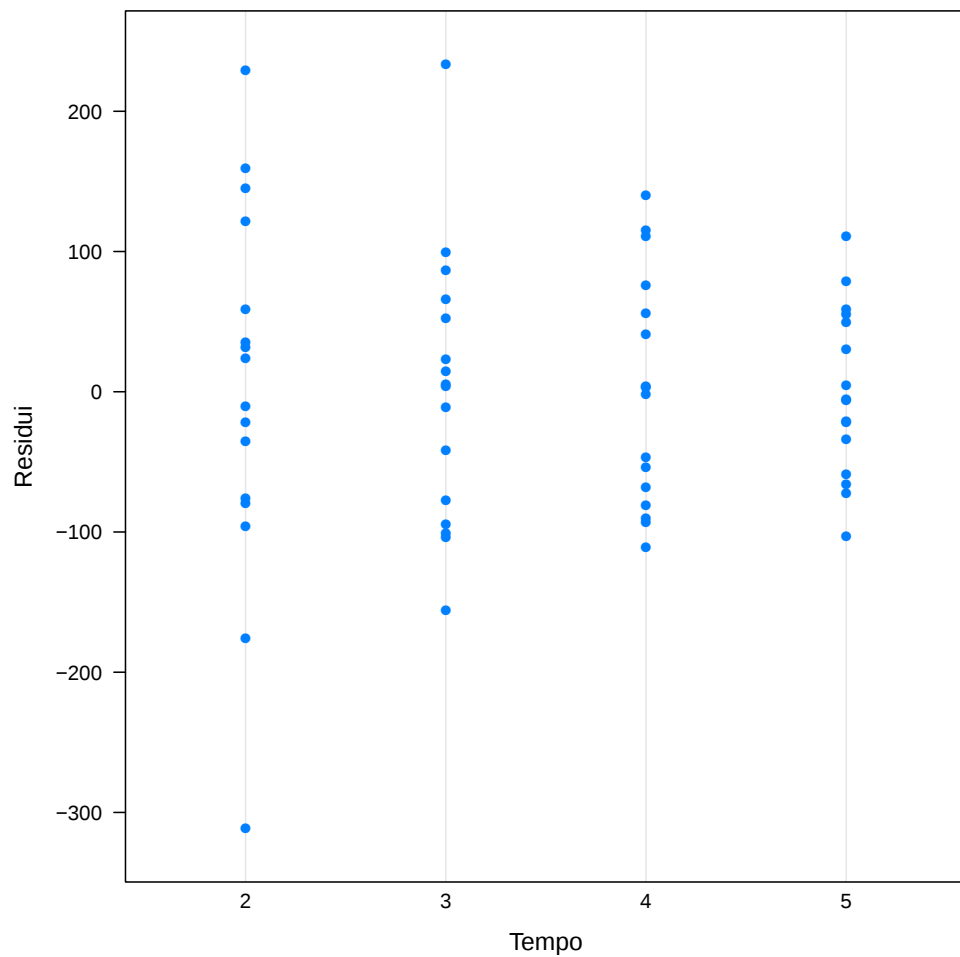


Figura 120: Analisi dei residui: Residui vs Tempo - Modello 1 - ANTHUV - Brolio

6.17 ANOVA per ANTHG - Modello ridotto

Call:

```
lm(formula = ANTHG ~ Tempo + CaricaGem + Defogliaz + Diradam,
    data = BRDF4)
```

Residuals:

Min	1Q	Median	3Q	Max
-261.531	-48.310	3.666	40.682	161.578

Coefficients:

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	2218.93	57.01	38.919	< 2e-16 ***
Tempo3	165.47	28.96	5.713	4.22e-07 ***
Tempo4	127.66	28.96	4.408	4.68e-05 ***
Tempo5	158.14	28.96	5.460	1.08e-06 ***
CaricaGem	-42.58	20.48	-2.079	0.0421 *
Defogliaz	141.32	20.48	6.900	4.66e-09 ***
Diradam	43.90	20.48	2.143	0.0364 *

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 81.92 on 57 degrees of freedom

Multiple R-squared: 0.6344, Adjusted R-squared: 0.5959

F-statistic: 16.48 on 6 and 57 DF, p-value: 6.614e-11

Analysis of Variance Table

Response: ANTHG

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)	
Tempo	3	284387	94796	14.1256	5.368e-07	***
CaricaGem	1	29005	29005	4.3220	0.04213	*
Defogliaz	1	319542	319542	47.6154	4.662e-09	***
Diradam	1	30829	30829	4.5939	0.03637	*
Residuals	57	382521	6711			

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

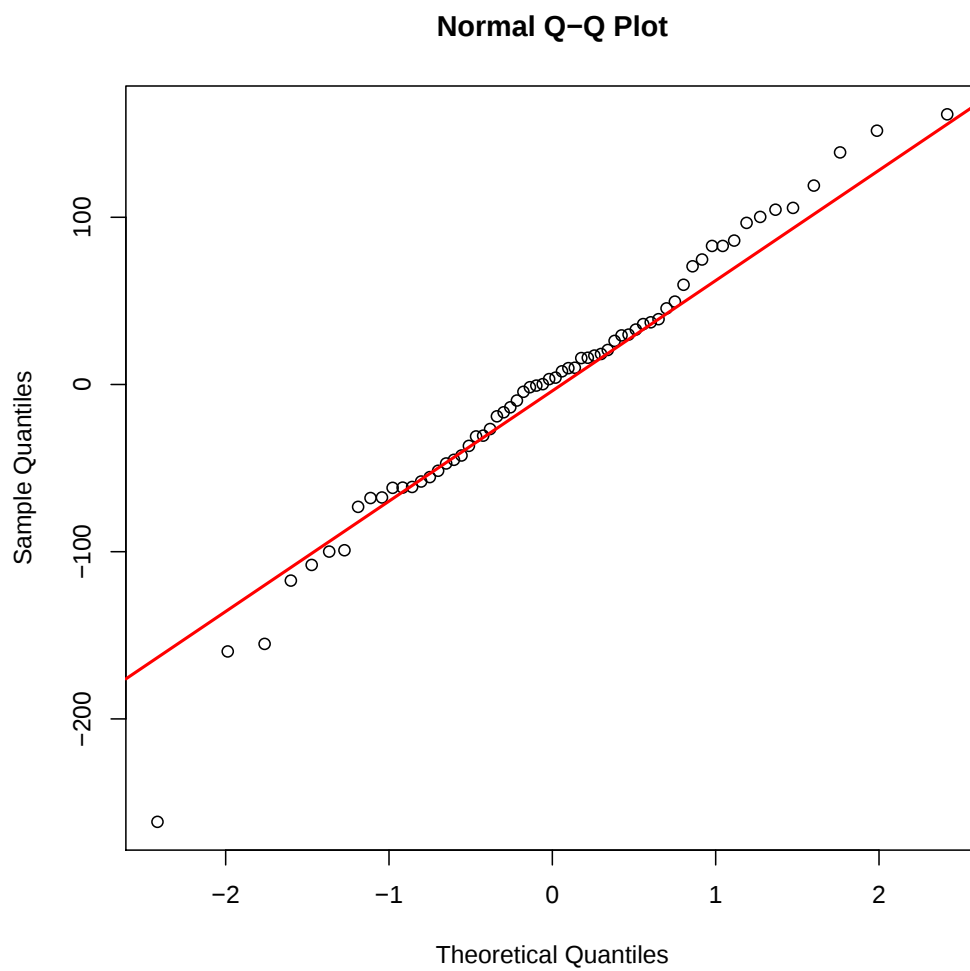


Figura 121: Analisi dei Residui: Q-Q Plot - Modello 1 - ANTHG - Brolio

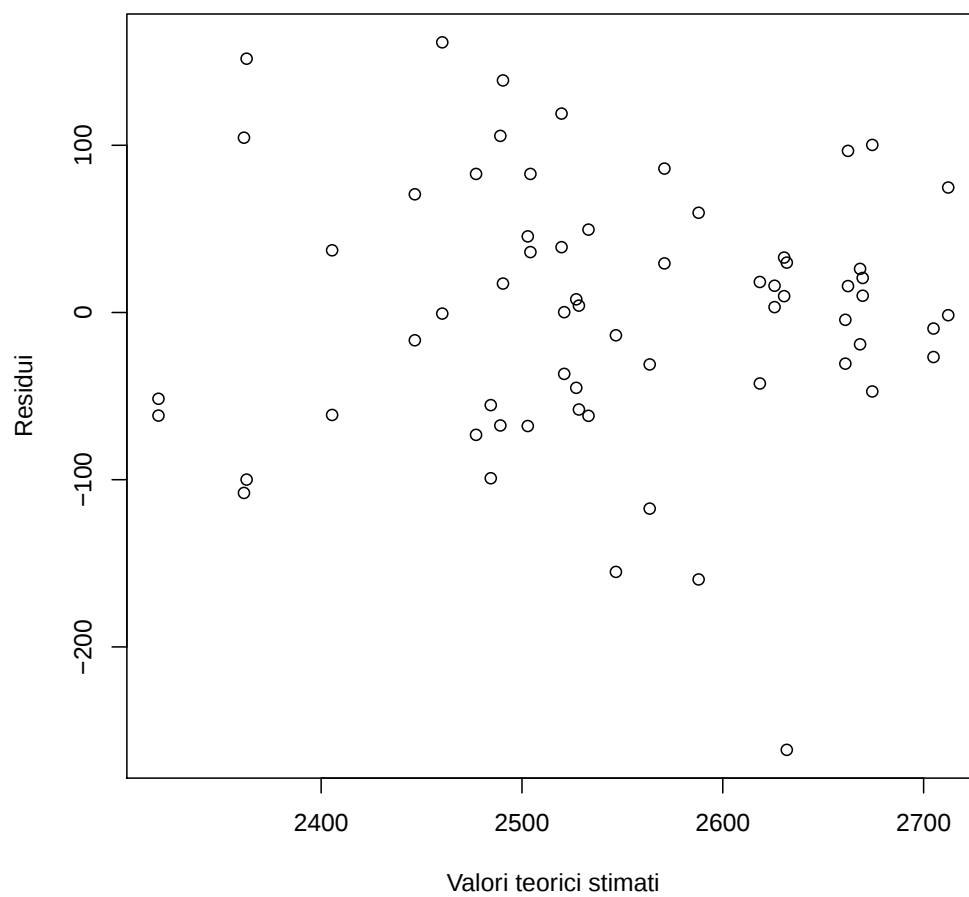


Figura 122: Analisi dei residui: Residui vs Valori teorici stimati - Modello 1
- ANTHG - Brolio

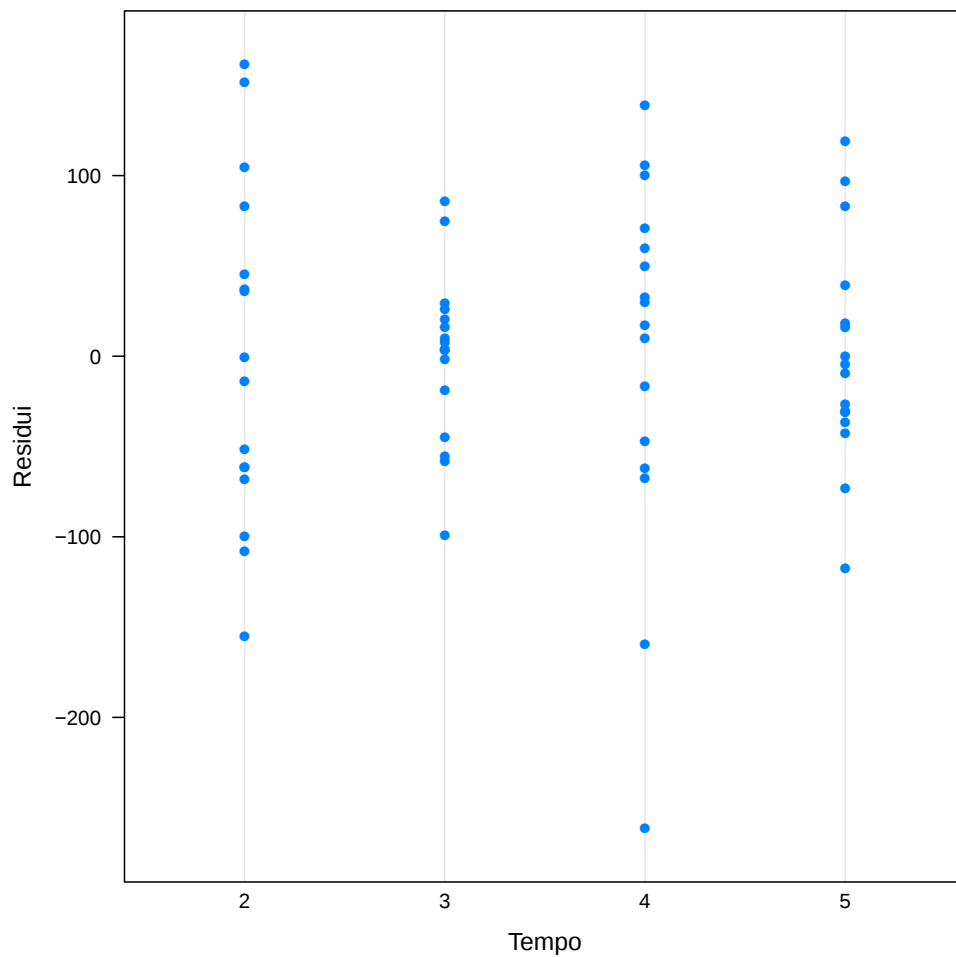


Figura 123: Analisi dei residui: Residui vs Tempo - Modello 1 - ANTHG - Brolio

6.18 ANOVA per ANTHBG - Modello ridotto

Call:

```
lm(formula = ANTHBG ~ Tempo + CaricaGem + Defogliaz + Diradam +  
    ESPOSIZ, data = BRDF4)
```

Residuals:

Min	1Q	Median	3Q	Max
-130.524	-23.068	-1.562	26.444	124.646

Coefficients:

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	907.15	34.78	26.085	< 2e-16 ***
Tempo3	-30.74	17.39	-1.768	0.0825 .
Tempo4	-96.24	17.39	-5.535	8.56e-07 ***
Tempo5	-147.70	17.39	-8.495	1.19e-11 ***
CaricaGem	25.59	12.30	2.081	0.0420 *
Defogliaz	-35.43	12.30	-2.882	0.0056 **
Diradam	-22.07	12.30	-1.795	0.0780 .
ESPOSIZ2	-19.37	12.30	-1.576	0.1207

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 49.18 on 56 degrees of freedom

Multiple R-squared: 0.653, Adjusted R-squared: 0.6097

F-statistic: 15.06 on 7 and 56 DF, p-value: 7.029e-11

Analysis of Variance Table

Response: ANTHBG

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)	
Tempo	3	210579	70193	29.0206	1.876e-11	***
CaricaGem	1	10477	10477	4.3315	0.041997	*
Defogliaz	1	20085	20085	8.3041	0.005599	**
Diradam	1	7795	7795	3.2228	0.078015	.
ESPOSIZ	1	6006	6006	2.4832	0.120704	
Residuals	56	135449	2419			

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

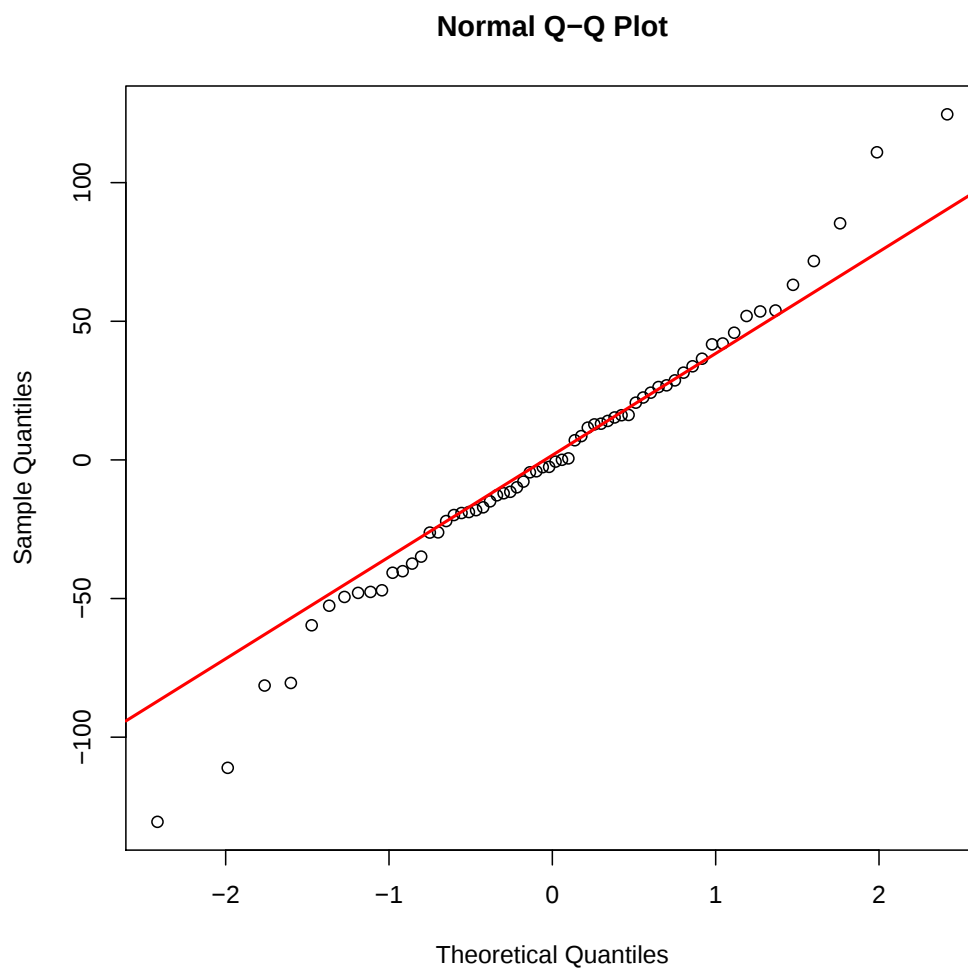


Figura 124: Analisi dei Residui: Q-Q Plot - Modello 1 - ANTHBG - Brolio

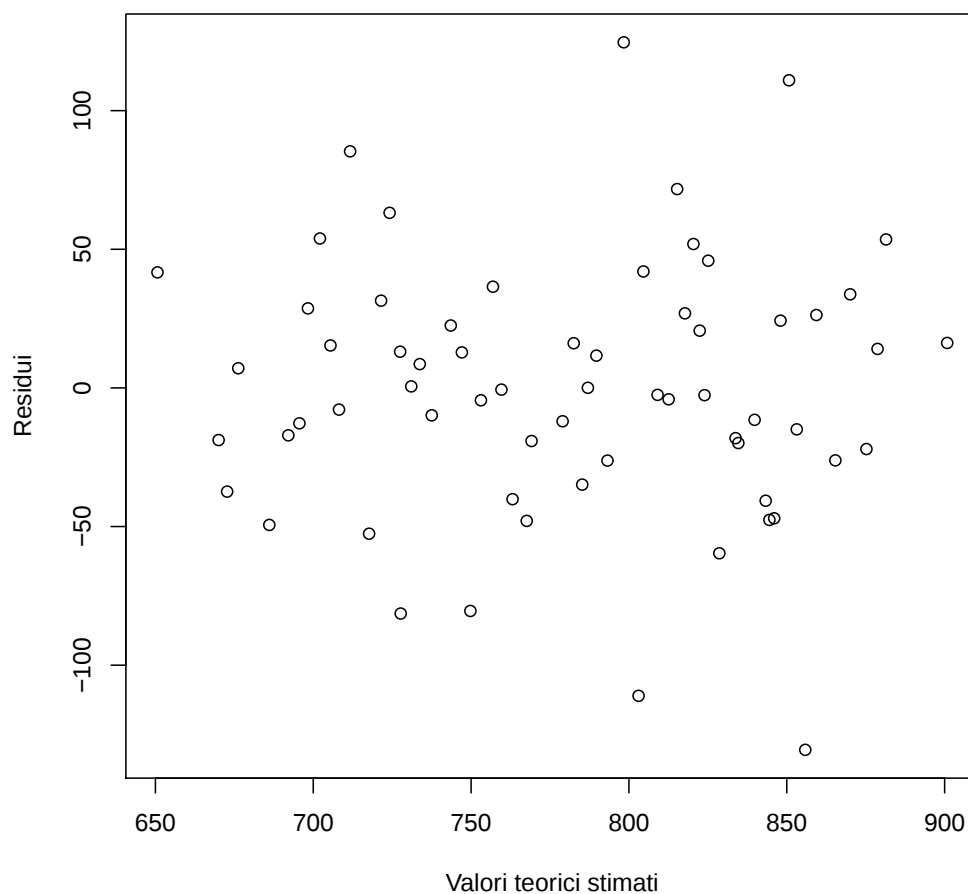


Figura 125: Analisi dei residui: Residui vs Valori teorici stimati - Modello 1
- ANTHBG - Brolio

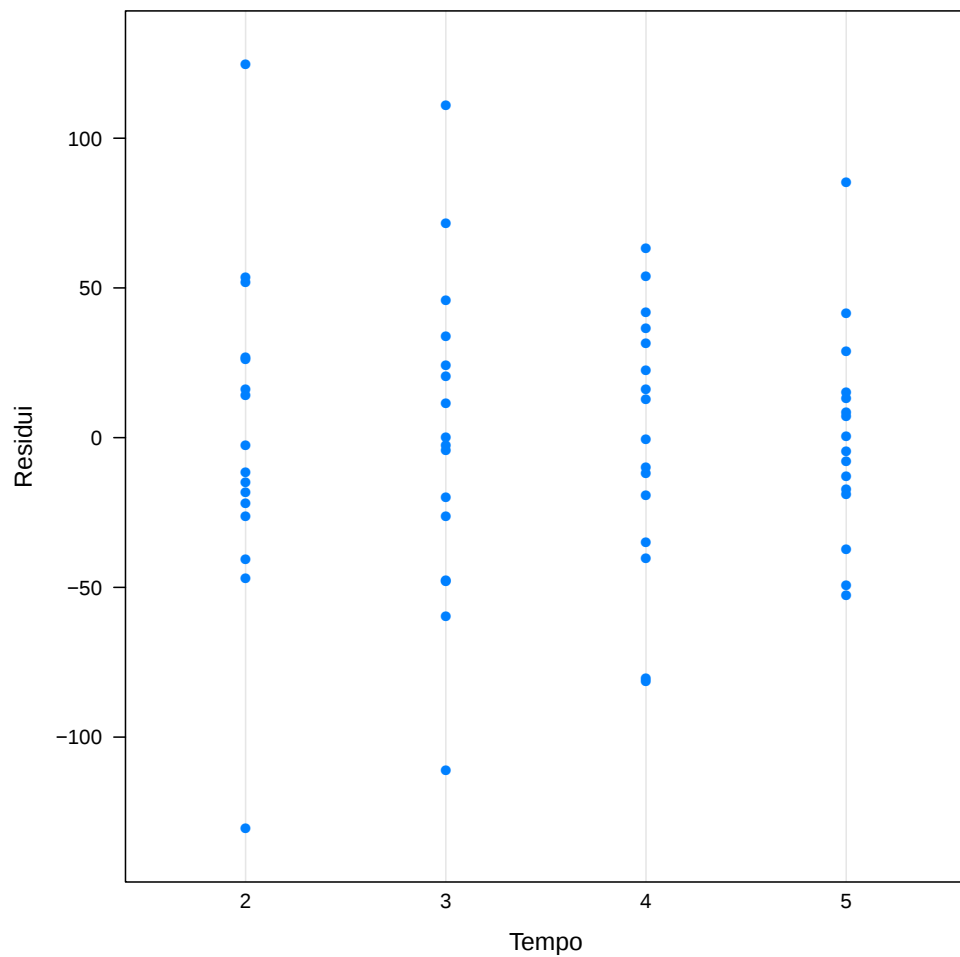


Figura 126: Analisi dei residui: Residui vs Tempo - Modello 1 - ANTHBG - Brolio

7 Discussione sull'Analisi della Varianza

Come è facilmente osservabile dalle tabelle riproposte il tempo risulta essere sempre altamente significativo, anche se non in tutti i suoi livelli per tutte le variabili.

La significatività dei fattori carica di gemme, defogliazione, diradamento ed esposizione dipende molto dalla variabile in studio considerata, lo stesso discorso per le interazioni che comprendono queste variabili.

In generale possiamo dire che l'interazione tra la carica di gemme e la defogliazione e tra carica di gemme e diradamento risulta sempre significativa (fa eccezione la variabile ANTHBG la cui interazione tra carica di gemme e diradamento non è significativa); per le altre interazioni questa generalizzazione non è invece possibile.

Va sottolineata l'importanza del buon adattamento del modello, dimostrata graficamente nell'analisi dei residui. Per quanto riguarda il q-q plot possiamo infatti notare come i punti si dispongano in maniera sufficientemente omogenea sulla diagonale confermando l'ipotesi di normalità dei residui; i grafici dei residui sia sui valori teorici stimati, sia nei singoli tempi mostra un andamento casuale che conferma l'adeguatezza del modello.

8 Analisi Multivariata della Varianza (MANOVA)

Dopo aver proceduto nell'analisi univariata della varianza passiamo ora all'*analisi multivariata della varianza* (MANOVA). L'analisi multivariata della varianza viene usata principalmente in due situazioni; la prima corrisponde al caso in cui abbiamo diverse variabili indipendenti correlate e il ricercatore desidera un unico test statistico su questo insieme di variabili anzichè eseguire molteplici prove individuali. Il secondo scopo è di indagare come le variabili indipendenti influenzino alcuni modelli di risposta sulle variabili dipendenti. Supponiamo di avere p variabili dipendenti, k parametri per ogni variabile dipendente e n osservazioni. Il modello può essere rappresentato dall'equazione sottostante:

$$Y = X\beta + \epsilon$$

dove Y è $n \times p$, X è $n \times k$ e ϵ è $n \times p$. Ognuno dei p modelli può essere stimato e testato separatamente, oppure si può considerare la distribuzione congiunta e testare i p modelli contemporaneamente. Nei test multivariati è necessario fare alcune assunzioni circa gli errori. Con p variabili dipendenti, ci sono $n \times p$ errori che sono indipendenti su tutte le osservazioni ma non su tutte le variabili dipendenti. Assumiamo:

$$\text{vec}(\epsilon) \sim N(0, I_n, \otimes \Sigma)$$

dove $\text{vec}(\epsilon)$ dispone gli ϵ per righe, $\otimes$ indica il prodotto di Kronecker e Σ è $p \times p$.

Σ può essere stimata da:

$$S = \frac{e'e}{n-r} = \frac{(Y - Xb)'(Y - Xb)}{n-r}$$

dove $b = (X'X)^{-1}X'Y$, r è il rango della matrice X ed e è la matrice dei residui. Tutti i test multivariati ottenuti dalla procedura GLM prima costruiscono le matrici H ed E che corrispondono rispettivamente al numeratore e al denominatore del test F univariato:

$$H = M'(Lb)'(L(X'X)^{-1}L')^{-1}(Lb)M$$

$$E = M'(Y'Y - b'(X'X)b)M$$

Gli elementi della diagonale di H ed E corrispondono alle ipotesi e agli errori SS del test univariato.

Vengono eseguiti quattro test statistici multivariati, tutti funzione degli autovalori di $E^{-1}H$:

1. Test Lambda di Wilks = $\frac{\det(E)}{\det(H+E)}$
2. Test Residuo di Pillai = residuo($H(H+E)^{-1}$)
3. Test Residuo di Hotelling - Lawley = residuo($E^{-1}H$)
4. Test Massima Radice di Roy = λ , massimo autovalore di $E^{-1}H$

Nell'analisi multivariata della varianza si è reso necessario procedere alla standardizzazione delle variabili in quanto il campo di variazione era notevolmente ampio, come è possibile notare dalla sintesi descrittiva riassuntiva sottostante.

SFRR	ANTHRG	ANTHR	ANTHRB
Min. :2065	Min. : 597	Min. : 453	Min. : 44
1st Qu.:3349	1st Qu.:1130	1st Qu.:1167	1st Qu.:361
Median :3887	Median :1236	Median :1363	Median :432
Mean :3945	Mean :1222	Mean :1333	Mean :433
3rd Qu.:4459	3rd Qu.:1328	3rd Qu.:1523	3rd Qu.:503
Max. :9570	Max. :1558	Max. :1858	Max. :754
ANTHB	ANTHRUV	ANTHUV	ANTHG
Min. : 586	Min. : 588.0	Min. :1103	Min. :1364
1st Qu.:1598	1st Qu.: 810.0	1st Qu.:2128	1st Qu.:2430
Median :1811	Median : 905.0	Median :2305	Median :2598
Mean :1766	Mean : 932.3	Mean :2265	Mean :2554
3rd Qu.:1979	3rd Qu.:1030.0	3rd Qu.:2447	3rd Qu.:2725
Max. :2343	Max. :1506.0	Max. :3000	Max. :3079
ANTHBG			
Min. : 471.0			
1st Qu.: 703.0			
Median : 788.0			
Mean : 788.8			
3rd Qu.: 873.0			
Max. :1078.0			

9 Analisi Multivariata

VIGNETO di BROLIO

Dati non Mediati

9.1 Anova delle Variabili

Response SFRR :

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)	
Tempo	3	410.67	136.890	266.6957	< 2.2e-16	***
CaricaGem	1	4.32	4.320	8.4169	0.0038045	**
Defogliaz	1	33.83	33.827	65.9038	1.482e-15	***
Diradam	1	3.38	3.385	6.5939	0.0103869	*
ESPOSIZ	1	0.00	0.000	0.0005	0.9815409	
Tempo:Defogliaz	3	6.55	2.184	4.2550	0.0053683	**
CaricaGem:Defogliaz	1	3.63	3.633	7.0779	0.0079375	**
CaricaGem:Diradam	1	6.86	6.859	13.3638	0.0002708	***
Defogliaz:ESPOSIZ	1	0.13	0.128	0.2501	0.6171493	
Diradam:ESPOSIZ	1	0.35	0.351	0.6829	0.4088068	
Defogliaz:Diradam	1	1.33	1.327	2.5847	0.1082380	
Residuals	937	480.95	0.513			

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Response ANTHRG :

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)	
Tempo	3	110.13	36.709	42.8561	< 2.2e-16	***
CaricaGem	1	4.52	4.516	5.2717	0.02190	*
Defogliaz	1	0.10	0.098	0.1139	0.73578	
Diradam	1	0.37	0.367	0.4286	0.51283	
ESPOSIZ	1	0.21	0.206	0.2402	0.62421	
Tempo:Defogliaz	3	8.21	2.736	3.1940	0.02293	*
CaricaGem:Defogliaz	1	17.29	17.286	20.1807	7.925e-06	***
CaricaGem:Diradam	1	4.83	4.834	5.6438	0.01772	*
Defogliaz:ESPOSIZ	1	3.27	3.271	3.8191	0.05097	.
Diradam:ESPOSIZ	1	0.24	0.244	0.2854	0.59329	
Defogliaz:Diradam	1	0.23	0.233	0.2724	0.60187	

Residuals 937 802.61 0.857

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Response ANTHR :

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)	
Tempo	3	97.79	32.598	45.1792	< 2.2e-16	***
CaricaGem	1	18.20	18.200	25.2240	6.110e-07	***
Defogliaz	1	108.29	108.290	150.0868	< 2.2e-16	***
Diradam	1	2.97	2.970	4.1165	0.0427500	*
ESPOSIZ	1	1.29	1.292	1.7901	0.1812437	
Tempo:Defogliaz	3	3.87	1.290	1.7877	0.1478441	
CaricaGem:Defogliaz	1	30.07	30.068	41.6726	1.729e-10	***
CaricaGem:Diradam	1	8.43	8.428	11.6813	0.0006585	***
Defogliaz:ESPOSIZ	1	3.98	3.976	5.5111	0.0191032	*
Diradam:ESPOSIZ	1	0.50	0.502	0.6956	0.4044861	
Defogliaz:Diradam	1	0.55	0.551	0.7632	0.3825631	
Residuals	937	676.06	0.722			

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Response ANTHRB :

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)	
Tempo	3	90.34	30.115	35.6269	< 2.2e-16	***
CaricaGem	1	0.27	0.269	0.3188	0.57247	
Defogliaz	1	44.98	44.978	53.2106	6.377e-13	***
Diradam	1	0.63	0.627	0.7422	0.38916	
ESPOSIZ	1	4.85	4.846	5.7328	0.01685	*
Tempo:Defogliaz	3	7.46	2.487	2.9428	0.03219	*
CaricaGem:Defogliaz	1	4.29	4.294	5.0804	0.02443	*
CaricaGem:Diradam	1	2.77	2.772	3.2795	0.07047	.
Defogliaz:ESPOSIZ	1	1.22	1.225	1.4487	0.22905	
Diradam:ESPOSIZ	1	3.09	3.085	3.6502	0.05637	.
Defogliaz:Diradam	1	0.06	0.061	0.0720	0.78846	
Residuals	937	792.03	0.845			

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Response ANTHB :

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)	
Tempo	3	124.13	41.376	58.9393	< 2.2e-16	***
CaricaGem	1	14.38	14.384	20.4897	6.767e-06	***
Defogliaz	1	126.43	126.435	180.1033	< 2.2e-16	***
Diradam	1	3.06	3.059	4.3572	0.03712	*
ESPOSIZ	1	0.02	0.025	0.0353	0.85094	
Tempo:Defogliaz	3	4.24	1.412	2.0121	0.11064	
CaricaGem:Defogliaz	1	15.08	15.080	21.4816	4.078e-06	***
CaricaGem:Diradam	1	3.41	3.409	4.8566	0.02778	*
Defogliaz:ESPOSIZ	1	1.64	1.637	2.3318	0.12709	
Diradam:ESPOSIZ	1	1.53	1.531	2.1814	0.14003	
Defogliaz:Diradam	1	0.29	0.288	0.4109	0.52167	
Residuals	937	657.79	0.702			

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Response ANTHRUV :

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)	
Tempo	3	231.80	77.268	126.6262	< 2.2e-16	***
CaricaGem	1	1.41	1.414	2.3170	0.128305	
Defogliaz	1	56.45	56.451	92.5119	< 2.2e-16	***
Diradam	1	1.73	1.733	2.8395	0.092305	.
ESPOSIZ	1	24.23	24.230	39.7081	4.532e-10	***
Tempo:Defogliaz	3	47.42	15.805	25.9014	4.223e-16	***
CaricaGem:Defogliaz	1	4.95	4.947	8.1073	0.004505	**
CaricaGem:Diradam	1	4.61	4.612	7.5577	0.006090	**
Defogliaz:ESPOSIZ	1	4.82	4.815	7.8908	0.005072	**
Diradam:ESPOSIZ	1	0.92	0.919	1.5065	0.219982	
Defogliaz:Diradam	1	1.89	1.893	3.1023	0.078508	.
Residuals	937	571.76	0.610			

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Response ANTHUV :

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
--	----	--------	---------	---------	--------

Tempo	3	22.84	7.612	10.6139	7.246e-07	***
CaricaGem	1	20.25	20.249	28.2344	1.343e-07	***
Defogliaz	1	191.70	191.702	267.2986	< 2.2e-16	***
Diradam	1	0.49	0.491	0.6853	0.40800	
ESPOSIZ	1	4.25	4.246	5.9203	0.01515	*
Tempo:Defogliaz	3	23.14	7.713	10.7547	5.944e-07	***
CaricaGem:Defogliaz	1	11.91	11.909	16.6057	4.991e-05	***
CaricaGem:Diradam	1	1.50	1.497	2.0869	0.14890	
Defogliaz:ESPOSIZ	1	0.15	0.152	0.2118	0.64550	
Diradam:ESPOSIZ	1	1.49	1.495	2.0840	0.14918	
Defogliaz:Diradam	1	2.28	2.281	3.1800	0.07487	.
Residuals	937	672.00	0.717			

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Response ANTHG :

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)	
Tempo	3	63.81	21.271	26.8479	< 2.2e-16	***
CaricaGem	1	9.73	9.728	12.2791	0.0004797	***
Defogliaz	1	111.67	111.671	140.9495	< 2.2e-16	***
Diradam	1	2.01	2.007	2.5335	0.1117922	
ESPOSIZ	1	0.81	0.809	1.0206	0.3126382	
Tempo:Defogliaz	3	6.69	2.231	2.8156	0.0381976	*
CaricaGem:Defogliaz	1	9.91	9.913	12.5116	0.0004243	***
CaricaGem:Diradam	1	2.79	2.785	3.5154	0.0611133	.
Defogliaz:ESPOSIZ	1	0.93	0.931	1.1756	0.2785386	
Diradam:ESPOSIZ	1	1.07	1.068	1.3484	0.2458562	
Defogliaz:Diradam	1	0.22	0.222	0.2808	0.5962841	
Residuals	937	742.36	0.792			

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Response ANTHBG :

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)	
Tempo	3	249.88	83.293	124.8077	< 2.2e-16	***
CaricaGem	1	10.23	10.225	15.3214	9.725e-05	***
Defogliaz	1	44.82	44.819	67.1581	8.181e-16	***

Diradam	1	2.30	2.304	3.4525	0.06347	.
ESPOSIZ	1	2.20	2.201	3.2977	0.06970	.
Tempo:Defogliaz	3	1.60	0.535	0.8012	0.49328	
CaricaGem:Defogliaz	1	11.33	11.329	16.9753	4.122e-05	***
CaricaGem:Diradam	1	1.54	1.536	2.3012	0.12961	
Defogliaz:ESPOSIZ	1	1.59	1.594	2.3891	0.12252	
Diradam:ESPOSIZ	1	1.04	1.040	1.5586	0.21218	
Defogliaz:Diradam	1	0.15	0.147	0.2208	0.63856	
Residuals	937	625.32	0.667			

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

9.2 Analisi con test di Pillai

	Df	Pillai	approx F	num Df	den Df	Pr(>F)
Tempo	3	0.89617	44.064	27	2793	< 2.2e-16
CaricaGem	1	0.03534	3.782	9	929	0.0001070
Defogliaz	1	0.24714	33.885	9	929	< 2.2e-16
Diradam	1	0.03486	3.728	9	929	0.0001289
ESPOSIZ	1	0.04362	4.708	9	929	3.912e-06
Tempo:Defogliaz	3	0.15885	5.784	27	2793	< 2.2e-16
CaricaGem:Defogliaz	1	0.06415	7.075	9	929	5.967e-10
CaricaGem:Diradam	1	0.03104	3.306	9	929	0.0005544
Defogliaz:ESPOSIZ	1	0.02136	2.253	9	929	0.0170974
Diradam:ESPOSIZ	1	0.01311	1.371	9	929	0.1968220
Defogliaz:Diradam	1	0.01719	1.806	9	929	0.0633772
Residuals	937					

Tempo	***
CaricaGem	***
Defogliaz	***
Diradam	***
ESPOSIZ	***
Tempo:Defogliaz	***
CaricaGem:Defogliaz	***
CaricaGem:Diradam	***
Defogliaz:ESPOSIZ	*
Diradam:ESPOSIZ	
Defogliaz:Diradam	.
Residuals	

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

9.3 Analisi con test di Wilks

	Df	Wilks	approx F	num Df	den Df	Pr(>F)
Tempo	3	0.21889	68.581	27	2713.8	< 2.2e-16
CaricaGem	1	0.96466	3.782	9	929.0	0.0001070
Defogliaz	1	0.75286	33.885	9	929.0	< 2.2e-16
Diradam	1	0.96514	3.728	9	929.0	0.0001289
ESPOSIZ	1	0.95638	4.708	9	929.0	3.912e-06
Tempo:Defogliaz	3	0.84366	6.024	27	2713.8	< 2.2e-16
CaricaGem:Defogliaz	1	0.93585	7.075	9	929.0	5.967e-10
CaricaGem:Diradam	1	0.96896	3.306	9	929.0	0.0005544
Defogliaz:ESPOSIZ	1	0.97864	2.253	9	929.0	0.0170974
Diradam:ESPOSIZ	1	0.98689	1.371	9	929.0	0.1968220
Defogliaz:Diradam	1	0.98281	1.806	9	929.0	0.0633772
Residuals	937					

Tempo	***
CaricaGem	***
Defogliaz	***
Diradam	***
ESPOSIZ	***
Tempo:Defogliaz	***
CaricaGem:Defogliaz	***
CaricaGem:Diradam	***
Defogliaz:ESPOSIZ	*
Diradam:ESPOSIZ	
Defogliaz:Diradam	.
Residuals	

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

9.4 Analisi con test di Hotelling-Lawley

	Df	Hotelling-Lawley	approx F	num Df	den Df
Tempo	3	3.05630	105.008	27	2783
CaricaGem	1	0.03664	3.782	9	929
Defogliaz	1	0.32827	33.885	9	929
Diradam	1	0.03612	3.728	9	929
ESPOSIZ	1	0.04561	4.708	9	929
Tempo:Defogliaz	3	0.18234	6.265	27	2783
CaricaGem:Defogliaz	1	0.06854	7.075	9	929
CaricaGem:Diradam	1	0.03203	3.306	9	929
Defogliaz:ESPOSIZ	1	0.02183	2.253	9	929
Diradam:ESPOSIZ	1	0.01328	1.371	9	929
Defogliaz:Diradam	1	0.01749	1.806	9	929
Residuals	937				
		Pr(>F)			
Tempo	< 2.2e-16	***			
CaricaGem	0.0001070	***			
Defogliaz	< 2.2e-16	***			
Diradam	0.0001289	***			
ESPOSIZ	3.912e-06	***			
Tempo:Defogliaz	< 2.2e-16	***			
CaricaGem:Defogliaz	5.967e-10	***			
CaricaGem:Diradam	0.0005544	***			
Defogliaz:ESPOSIZ	0.0170974	*			
Diradam:ESPOSIZ	0.1968220				
Defogliaz:Diradam	0.0633772	.			
Residuals					

Signif. codes:	0 '***'	0.001 '**'	0.01 '*'	0.05 '.'	0.1 ' ' 1

9.5 Analisi con test di Roy

	Df	Roy	approx F	num Df	den Df	Pr(>F)
Tempo	3	2.88507	298.445	9	931	< 2.2e-16
CaricaGem	1	0.03664	3.782	9	929	0.0001070
Defogliaz	1	0.32827	33.885	9	929	< 2.2e-16
Diradam	1	0.03612	3.728	9	929	0.0001289
ESPOSIZ	1	0.04561	4.708	9	929	3.912e-06
Tempo:Defogliaz	3	0.16486	17.054	9	931	< 2.2e-16
CaricaGem:Defogliaz	1	0.06854	7.075	9	929	5.967e-10
CaricaGem:Diradam	1	0.03203	3.306	9	929	0.0005544
Defogliaz:ESPOSIZ	1	0.02183	2.253	9	929	0.0170974
Diradam:ESPOSIZ	1	0.01328	1.371	9	929	0.1968220
Defogliaz:Diradam	1	0.01749	1.806	9	929	0.0633772
Residuals	937					

Tempo	***
CaricaGem	***
Defogliaz	***
Diradam	***
ESPOSIZ	***
Tempo:Defogliaz	***
CaricaGem:Defogliaz	***
CaricaGem:Diradam	***
Defogliaz:ESPOSIZ	*
Diradam:ESPOSIZ	
Defogliaz:Diradam	.
Residuals	

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

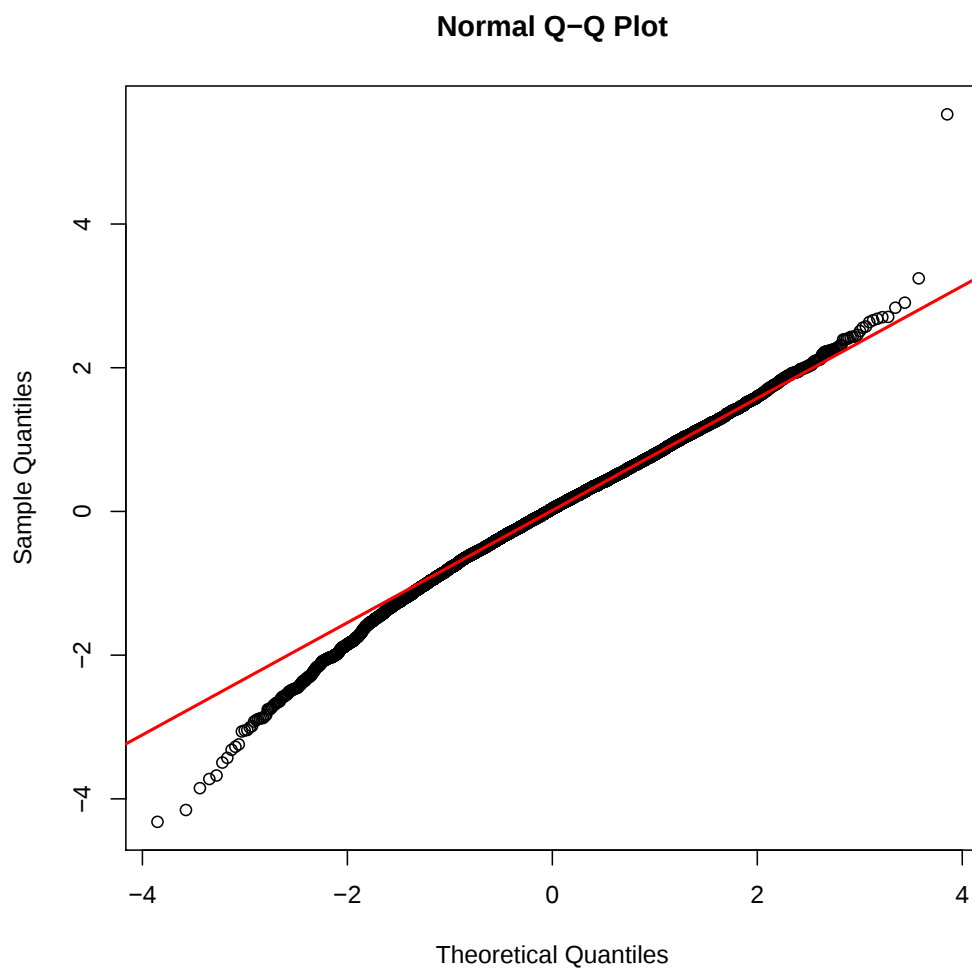


Figura 127: Analisi dei Residui: Q-Q Plot - MANOVA - Brolio - Dati non Mediati

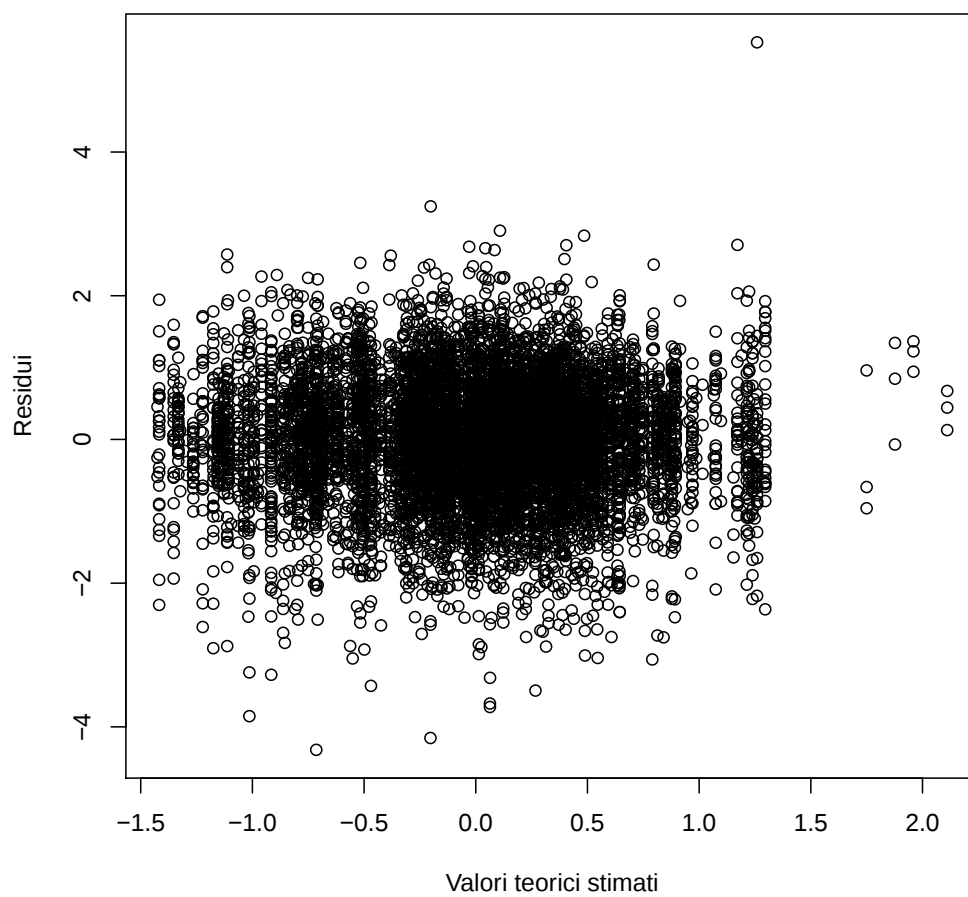


Figura 128: Analisi dei residui: Residui vs Valori teorici stimati - MANOVA
- Brolio - Dati non Mediati

10 Analisi Multivariata

VIGNETO di BROLIO

Dati Mediati

10.1 Anova delle Variabili

Response SFRR :

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
Tempo	3	46.921	15.6403	75.7142	< 2.2e-16 ***
CaricaGem	1	0.357	0.3573	1.7297	0.1946998
Defogliaz	1	3.543	3.5434	17.1537	0.0001388 ***
Diradam	1	0.122	0.1222	0.5918	0.4455051
ESPOSIZ	1	0.001	0.0009	0.0044	0.9472993
Tempo:Defogliaz	3	1.068	0.3559	1.7230	0.1747988
CaricaGem:Defogliaz	1	0.004	0.0040	0.0192	0.8903027
CaricaGem:Diradam	1	0.597	0.5970	2.8901	0.0955958 .
Defogliaz:ESPOSIZ	1	0.054	0.0544	0.2636	0.6100303
Diradam:ESPOSIZ	1	0.131	0.1308	0.6332	0.4301072
Defogliaz:Diradam	1	0.286	0.2859	1.3838	0.2452497
Residuals	48	9.915	0.2066		

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Response ANTHRG :

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
Tempo	3	23.4711	7.8237	14.6575	6.61e-07 ***
CaricaGem	1	1.0834	1.0834	2.0298	0.1607125
Defogliaz	1	0.6877	0.6877	1.2884	0.2619766
Diradam	1	0.0000	0.0000	0.0000	0.9991774
ESPOSIZ	1	0.0771	0.0771	0.1445	0.7055577
Tempo:Defogliaz	3	2.4330	0.8110	1.5194	0.2214644
CaricaGem:Defogliaz	1	7.6883	7.6883	14.4037	0.0004138 ***
CaricaGem:Diradam	1	0.3451	0.3451	0.6466	0.4253071
Defogliaz:ESPOSIZ	1	1.4542	1.4542	2.7244	0.1053528
Diradam:ESPOSIZ	1	0.1000	0.1000	0.1873	0.6671151
Defogliaz:Diradam	1	0.0392	0.0392	0.0734	0.7875864

Residuals 48 25.6209 0.5338

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Response ANTHR :

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)	
Tempo	3	24.2681	8.0894	30.9435	2.781e-11	***
CaricaGem	1	3.5178	3.5178	13.4563	0.0006112	***
Defogliaz	1	11.6687	11.6687	44.6350	2.269e-08	***
Diradam	1	1.5064	1.5064	5.7622	0.0203002	*
ESPOSIZ	1	0.6256	0.6256	2.3930	0.1284461	
Tempo:Defogliaz	3	0.8916	0.2972	1.1369	0.3436728	
CaricaGem:Defogliaz	1	4.4900	4.4900	17.1752	0.0001377	***
CaricaGem:Diradam	1	0.8159	0.8159	3.1212	0.0836403	.
Defogliaz:ESPOSIZ	1	2.2756	2.2756	8.7046	0.0048955	**
Diradam:ESPOSIZ	1	0.3005	0.3005	1.1493	0.2890513	
Defogliaz:Diradam	1	0.0915	0.0915	0.3499	0.5569673	
Residuals	48	12.5484	0.2614			

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Response ANTHRB :

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)	
Tempo	3	17.5900	5.8633	10.7270	1.643e-05	***
CaricaGem	1	0.0051	0.0051	0.0094	0.9231786	
Defogliaz	1	9.1049	9.1049	16.6574	0.0001684	***
Diradam	1	1.4766	1.4766	2.7014	0.1067933	
ESPOSIZ	1	2.0384	2.0384	3.7292	0.0593858	.
Tempo:Defogliaz	3	2.3233	0.7744	1.4168	0.2493603	
CaricaGem:Defogliaz	1	2.4252	2.4252	4.4369	0.0404246	*
CaricaGem:Diradam	1	0.0376	0.0376	0.0688	0.7941579	
Defogliaz:ESPOSIZ	1	0.4160	0.4160	0.7610	0.3873642	
Diradam:ESPOSIZ	1	1.3124	1.3124	2.4009	0.1278306	
Defogliaz:Diradam	1	0.0339	0.0339	0.0620	0.8043512	
Residuals	48	26.2367	0.5466			

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Response ANTHB :

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)	
Tempo	3	25.5851	8.5284	31.6221	1.978e-11	***
CaricaGem	1	2.3527	2.3527	8.7237	0.004852	**
Defogliaz	1	15.8574	15.8574	58.7974	7.017e-10	***
Diradam	1	2.2018	2.2018	8.1638	0.006300	**
ESPOSIZ	1	0.0027	0.0027	0.0099	0.921027	
Tempo:Defogliaz	3	0.6742	0.2247	0.8333	0.482197	
CaricaGem:Defogliaz	1	1.1405	1.1405	4.2290	0.045197	*
CaricaGem:Diradam	1	0.4189	0.4189	1.5531	0.218722	
Defogliaz:ESPOSIZ	1	0.8970	0.8970	3.3260	0.074420	.
Diradam:ESPOSIZ	1	0.8240	0.8240	3.0551	0.086877	.
Defogliaz:Diradam	1	0.1004	0.1004	0.3721	0.544728	
Residuals	48	12.9454	0.2697			

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Response ANTHRUV :

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)	
Tempo	3	26.4479	8.8160	48.5275	1.430e-14	***
CaricaGem	1	0.1110	0.1110	0.6112	0.43817	
Defogliaz	1	9.6172	9.6172	52.9381	2.780e-09	***
Diradam	1	0.0001	0.0001	0.0006	0.98109	
ESPOSIZ	1	6.2418	6.2418	34.3582	4.077e-07	***
Tempo:Defogliaz	3	8.9206	2.9735	16.3679	1.843e-07	***
CaricaGem:Defogliaz	1	0.2420	0.2420	1.3322	0.25413	
CaricaGem:Diradam	1	0.3391	0.3391	1.8665	0.17825	
Defogliaz:ESPOSIZ	1	1.1460	1.1460	6.3081	0.01544	*
Diradam:ESPOSIZ	1	0.2604	0.2604	1.4331	0.23713	
Defogliaz:Diradam	1	0.9537	0.9537	5.2494	0.02639	*
Residuals	48	8.7201	0.1817			

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Response ANTHUV :

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
--	----	--------	---------	---------	--------

Tempo	3	3.631	1.210	5.2574	0.0032280	**
CaricaGem	1	3.582	3.582	15.5612	0.0002595	***
Defogliaz	1	32.038	32.038	139.1677	8.644e-16	***
Diradam	1	1.116	1.116	4.8480	0.0325164	*
ESPOSIZ	1	2.371	2.371	10.2993	0.0023736	**
Tempo:Defogliaz	3	5.046	1.682	7.3064	0.0003933	***
CaricaGem:Defogliaz	1	1.881	1.881	8.1705	0.0062805	**
CaricaGem:Diradam	1	0.065	0.065	0.2803	0.5989730	
Defogliaz:ESPOSIZ	1	0.112	0.112	0.4880	0.4882118	
Diradam:ESPOSIZ	1	0.847	0.847	3.6813	0.0609850	.
Defogliaz:Diradam	1	1.259	1.259	5.4709	0.0235464	*
Residuals	48	11.050	0.230			

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Response ANTHG :

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)	
Tempo	3	17.1238	5.7079	14.0151	1.087e-06	***
CaricaGem	1	1.7465	1.7465	4.2882	0.04378	*
Defogliaz	1	19.2406	19.2406	47.2427	1.150e-08	***
Diradam	1	1.8563	1.8563	4.5579	0.03790	*
ESPOSIZ	1	0.4544	0.4544	1.1158	0.29611	
Tempo:Defogliaz	3	1.2166	0.4055	0.9957	0.40292	
CaricaGem:Defogliaz	1	0.1124	0.1124	0.2761	0.60170	
CaricaGem:Diradam	1	0.3297	0.3297	0.8096	0.37272	
Defogliaz:ESPOSIZ	1	0.6330	0.6330	1.5542	0.21856	
Diradam:ESPOSIZ	1	0.7023	0.7023	1.7245	0.19536	
Defogliaz:Diradam	1	0.0352	0.0352	0.0865	0.76994	
Residuals	48	19.5490	0.4073			

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Response ANTHBG :

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)	
Tempo	3	33.983	11.3275	33.1169	9.487e-12	***
CaricaGem	1	1.691	1.6907	4.9429	0.030940	*
Defogliaz	1	3.241	3.2413	9.4762	0.003437	**

Diradam	1	1.258	1.2580	3.6777	0.061104	.
ESPOSIZ	1	0.969	0.9692	2.8336	0.098802	.
Tempo:Defogliaz	3	0.393	0.1311	0.3832	0.765567	
CaricaGem:Defogliaz	1	3.454	3.4541	10.0985	0.002596	**
CaricaGem:Diradam	1	0.265	0.2645	0.7734	0.383540	
Defogliaz:ESPOSIZ	1	0.697	0.6971	2.0379	0.159895	
Diradam:ESPOSIZ	1	0.466	0.4655	1.3610	0.249126	
Defogliaz:Diradam	1	0.166	0.1656	0.4840	0.489965	
Residuals	48	16.418	0.3420			

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

10.2 Analisi con test di Pillai

	Df	Pillai	approx F	num Df	den Df	Pr(>F)
Tempo	3	1.82646	7.2630	27	126	3.071e-15
CaricaGem	1	0.40363	3.0080	9	40	0.0077808
Defogliaz	1	0.84385	24.0183	9	40	1.883e-13
Diradam	1	0.33626	2.2517	9	40	0.0381848
ESPOSIZ	1	0.47731	4.0585	9	40	0.0009354
Tempo:Defogliaz	3	1.05704	2.5388	27	126	0.0002741
CaricaGem:Defogliaz	1	0.46868	3.9205	9	40	0.0012256
CaricaGem:Diradam	1	0.35118	2.4056	9	40	0.0275715
Defogliaz:ESPOSIZ	1	0.41235	3.1187	9	40	0.0061865
Diradam:ESPOSIZ	1	0.19266	1.0606	9	40	0.4118225
Defogliaz:Diradam	1	0.41358	3.1346	9	40	0.0059867
Residuals	48					

Tempo	***
CaricaGem	**
Defogliaz	***
Diradam	*
ESPOSIZ	***
Tempo:Defogliaz	***
CaricaGem:Defogliaz	**
CaricaGem:Diradam	*
Defogliaz:ESPOSIZ	**
Diradam:ESPOSIZ	
Defogliaz:Diradam	**
Residuals	

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

10.3 Analisi con test di Wilks

	Df	Wilks	approx F	num Df	den Df	Pr(>F)
Tempo	3	0.00842	17.9781	27	117.46	< 2.2e-16
CaricaGem	1	0.59637	3.0080	9	40.00	0.0077808
Defogliaz	1	0.15615	24.0183	9	40.00	1.883e-13
Diradam	1	0.66374	2.2517	9	40.00	0.0381848
ESPOSIZ	1	0.52269	4.0585	9	40.00	0.0009354
Tempo:Defogliaz	3	0.20724	3.1069	27	117.46	1.274e-05
CaricaGem:Defogliaz	1	0.53132	3.9205	9	40.00	0.0012256
CaricaGem:Diradam	1	0.64882	2.4056	9	40.00	0.0275715
Defogliaz:ESPOSIZ	1	0.58765	3.1187	9	40.00	0.0061865
Diradam:ESPOSIZ	1	0.80734	1.0606	9	40.00	0.4118225
Defogliaz:Diradam	1	0.58642	3.1346	9	40.00	0.0059867
Residuals	48					

Tempo	***
CaricaGem	**
Defogliaz	***
Diradam	*
ESPOSIZ	***
Tempo:Defogliaz	***
CaricaGem:Defogliaz	**
CaricaGem:Diradam	*
Defogliaz:ESPOSIZ	**
Diradam:ESPOSIZ	
Defogliaz:Diradam	**
Residuals	

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

10.4 Analisi con test di Hotelling-Lawley

	Df	Hotelling-Lawley	approx F	num Df	den Df
Tempo	3	38.144	54.625	27	116
CaricaGem	1	0.677	3.008	9	40
Defogliaz	1	5.404	24.018	9	40
Diradam	1	0.507	2.252	9	40
ESPOSIZ	1	0.913	4.059	9	40
Tempo:Defogliaz	3	2.641	3.782	27	116
CaricaGem:Defogliaz	1	0.882	3.920	9	40
CaricaGem:Diradam	1	0.541	2.406	9	40
Defogliaz:ESPOSIZ	1	0.702	3.119	9	40
Diradam:ESPOSIZ	1	0.239	1.061	9	40
Defogliaz:Diradam	1	0.705	3.135	9	40
Residuals	48				

	Pr(>F)
Tempo	< 2.2e-16 ***
CaricaGem	0.0077808 **
Defogliaz	1.883e-13 ***
Diradam	0.0381848 *
ESPOSIZ	0.0009354 ***
Tempo:Defogliaz	3.086e-07 ***
CaricaGem:Defogliaz	0.0012256 **
CaricaGem:Diradam	0.0275715 *
Defogliaz:ESPOSIZ	0.0061865 **
Diradam:ESPOSIZ	0.4118225
Defogliaz:Diradam	0.0059867 **
Residuals	

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

10.5 Analisi con test di Roy

	Df	Roy	approx F	num	Df	den	Df	Pr(>F)
Tempo	3	36.514	170.399		9	42	< 2.2e-16	
CaricaGem	1	0.677	3.008		9	40	0.0077808	
Defogliaz	1	5.404	24.018		9	40	1.883e-13	
Diradam	1	0.507	2.252		9	40	0.0381848	
ESPOSIZ	1	0.913	4.059		9	40	0.0009354	
Tempo:Defogliaz	3	2.152	10.045		9	42	4.971e-08	
CaricaGem:Defogliaz	1	0.882	3.920		9	40	0.0012256	
CaricaGem:Diradam	1	0.541	2.406		9	40	0.0275715	
Defogliaz:ESPOSIZ	1	0.702	3.119		9	40	0.0061865	
Diradam:ESPOSIZ	1	0.239	1.061		9	40	0.4118225	
Defogliaz:Diradam	1	0.705	3.135		9	40	0.0059867	
Residuals	48							

Tempo	***
CaricaGem	**
Defogliaz	***
Diradam	*
ESPOSIZ	***
Tempo:Defogliaz	***
CaricaGem:Defogliaz	**
CaricaGem:Diradam	*
Defogliaz:ESPOSIZ	**
Diradam:ESPOSIZ	
Defogliaz:Diradam	**
Residuals	

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

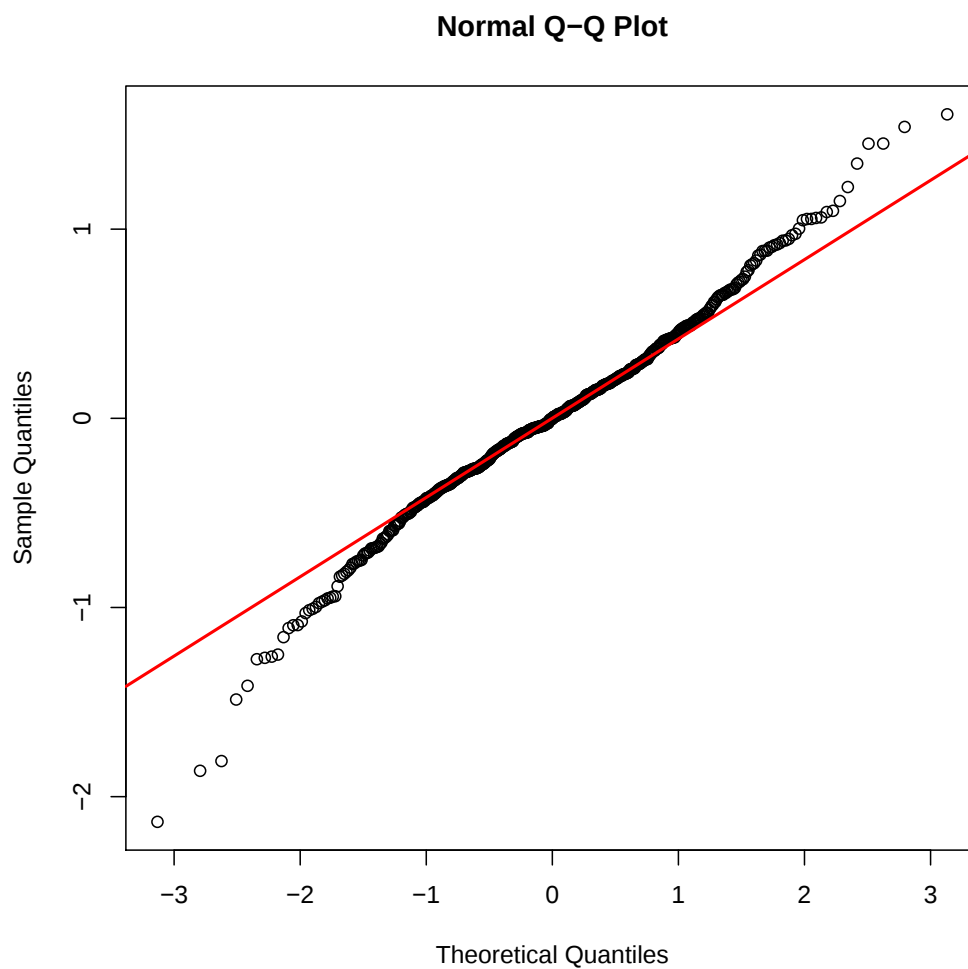


Figura 129: Analisi dei Residui: Q-Q Plot - MANOVA - Brolio - Dati Mediati

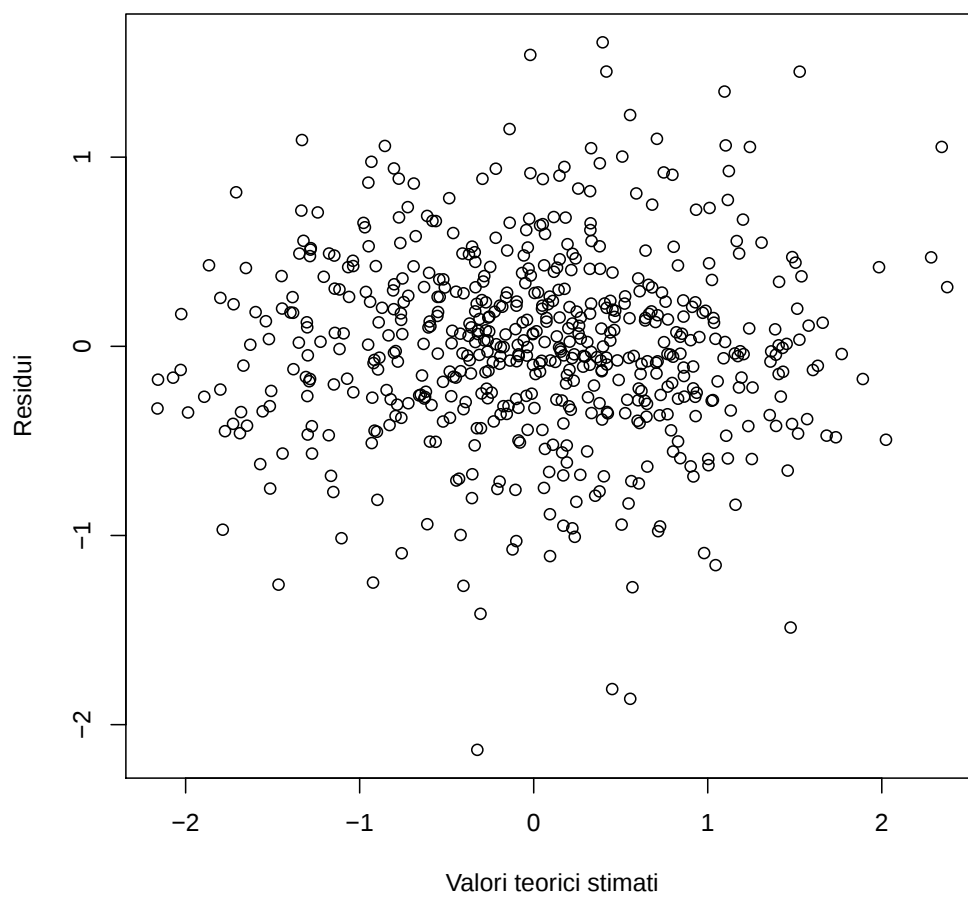


Figura 130: Analisi dei residui: Residui vs Valori teorici stimati - MANOVA
- Brolio - Dati Mediati

11 Discussione sull'Analisi Multivariata della Varianza

L'analisi multivariata della varianza (MANOVA), come detto in precedenza, permette di valutare come le variabili indipendenti influenzino alcuni modelli di risposta sulle variabili dipendenti.

La perdita di informazioni circa ciascun singolo effetto è compensata dalla maggiore omogeneità nelle risposte e ci permette di validare le nostre analisi. L'analisi MANOVA è stata effettuata con un modello che tiene ovviamente in considerazione i risultati ottenuti con l'ANOVA effettuata per ogni variabile dipendente. Pertanto, pur essendo i risultati dell'ANOVA molto equilibrati, il modello adattato in questa sede risulta un valido "compromesso", nel quale si mantengono tutte le informazioni precedentemente ottenute cercando, al contempo, di ottenere la migliore analisi possibile.

Proprio per questo, come si può notare, sono stati utilizzati numerosi test che concordano nel confermare la significatività del tempo e di tutti i fattori principali dello studio.

Fortemente significative risultano essere anche le interazioni introdotte nel modello, dove per interazione tra 2 fattori, ricordiamo, si intende la variazione dei livelli di un fattore al variare dei livelli dell'altro fattore.

Unica eccezione è l'interazione tra diradamento ed esposizione la cui interpretazione necessiterebbe forse di una spiegazione di natura più tecnica.

Si sottolinea che le variabili di risposta sono state standardizzate per diminuire il campo di variazione già precedentemente illustrato in sede preliminare e che l'analisi multivariata della varianza è stata compiuta sia sui dati medi che sui dati originali.

12 Reti Probabilistiche

Nella fase finale dello studio è stata sviluppata una rete probabilistica non direzionata per le nove variabili al netto dell'effetto dovuto ai trattamenti.

I modelli grafici probabilistici permettono di rappresentare in maniera parsimoniosa la struttura di una distribuzione multivariata di numerose variabili, problema tipico nella sperimentazione a carico di fenomeni complessi di tipo multivariato.

Le due più comuni classi di modelli grafici sono le *reti Bayesiane* (Bayesian networks) e le *reti di Markov* (Markov networks). Le reti Bayesiane si basano su grafici diretti e vengono dette anche *modelli grafici diretti*, le reti di Markov vengono anche chiamate *modelli grafici indiretti*.

12.1 Assunzioni di indipendenza condizionata nelle reti Bayesiane

Un modo di vedere una rete Bayesiana è nient'altro che una rappresentazione compatta di una serie di assunzioni di indipendenza condizionata circa una distribuzione di interesse. Queste assunzioni sono chiamate *assunzioni locali di Markov* e, in sostanza, indicano che ogni nodo X_i è indipendente dai suoi non-discendenti (variabili nel grafico che non sono discendenti di X_i) dati i suoi parenti.

Una procedura generale chiamata *d-separation* (directed separation) è utile per valutare l'influenza probabilistica come un flusso nel grafico e cioè, come l'influenza da X può scorrere attraverso Z influenzando la nostra convinzione su Y .

Si consideri una semplice via a tre nodi $X - Y - Z$. Se l'influenza può scorrere da X a Y attraversando Z , si può affermare che la via $X - Z - Y$ è *attiva*. Ci sono quattro casi:

- i) *Casual Path* $X \rightarrow Z \rightarrow Y$: attivo se e solo se Z non è osservata.
- ii) *Evidential Path* $X \leftarrow Z \leftarrow Y$: attivo se e solo se Z non è osservata.
- iii) *Common Cause* $X \leftarrow Z \rightarrow Y$: attivo se e solo se Z non è osservata.
- iv) *Common Effect* $X \rightarrow Z \leftarrow Y$: attivo se e solo se Z o uno discendente di Z è osservato.

Si consideri un percorso più lungo $X_1 - \dots - X_n$.

In altre parole, X_1 può influenzare X_n se ogni via a due nodi $X_{i-1} - X_i - X_{i+1}$ lungo il cammino permette all'influenza di scorrere.

12.2 Indipendenze nelle reti di Markov

Come nel caso delle reti Bayesiane, la struttura grafica in una rete di Markov può essere vista come la codifica di una serie di assunzioni di indipendenza condizionata. Intuitivamente, nelle reti di Markov, l'influenza probabilistica “scorre” lungo le vie indirette nel grafico, ma è bloccata se si mettono condizioni sui nodi intermedi.

Si possono definire due tipi di proprietà markoviane: locali oppure globali.

Le proprietà locali di Markov sono associate con ogni nodo nel grafico e sono basate sull'intuizione che si possano bloccare tutte le influenze su un nodo condizionando i suoi vicini più prossimi.

Per definire le proprietà globali di Markov, si deve cominciare con la definizione di vie attive nei grafici indiretti (undirected graph).

Sia H una rete di Markov e $X_1 - \dots - X_k$ una via in H . Sia $E \subseteq X$ una serie di *variabili osservate*. La via $X_1 - \dots - X_k$ è *attiva* data E se nessuno degli X_i , $i = 1, \dots, k$, è in E .

Attraverso questa nozione, possiamo definire una nozione di *separazione* nei grafi indiretti.

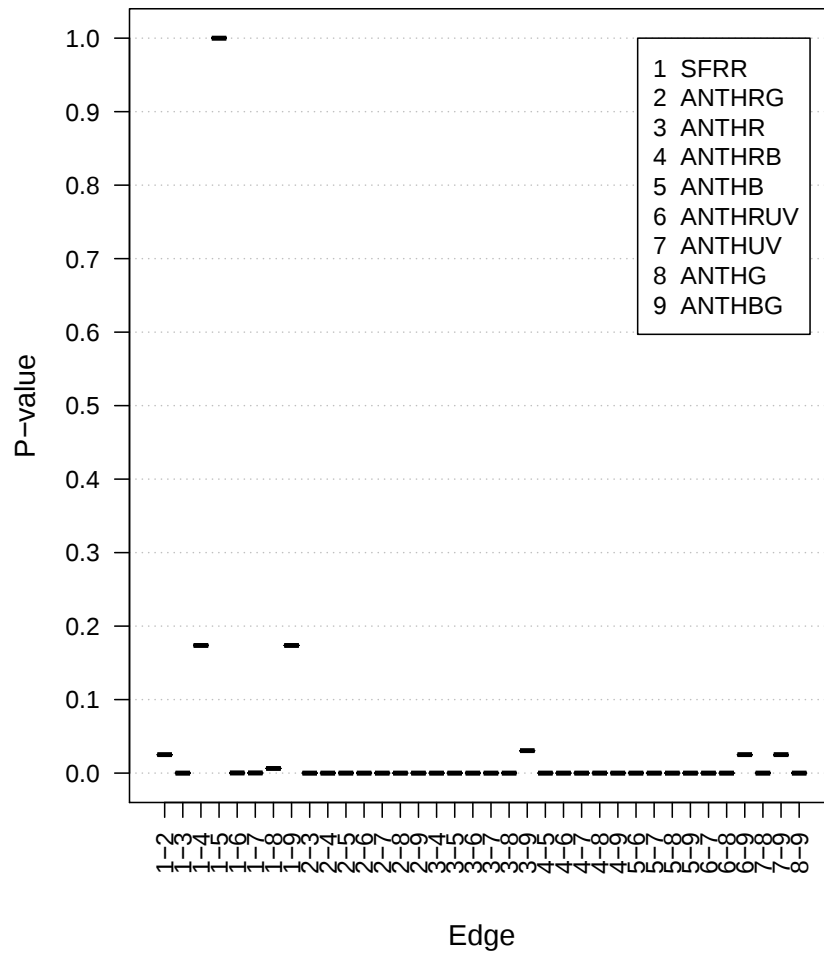


Figura 131: Grafico p-value per modello UG - Brolio - Dati Originali

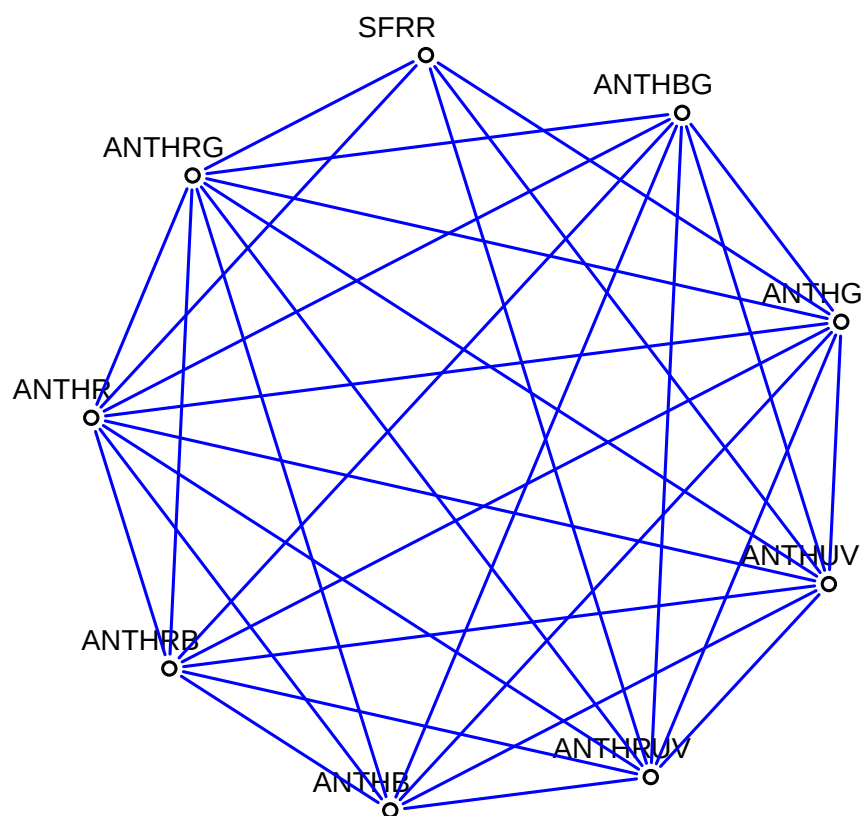


Figura 132: Grafico Indiretto - Brolio - Dati Originali

A livello interpretativo un grafo non direzionato svela i gruppi di variabili rispetto ai quali ci si deve condizionare per ottenere eventualmente l'indipendenza di due (gruppi di) variabili. Come tale esso è uno strumento per la comprensione della struttura probabilistica di una distribuzione multivariata. La rete ottenuta a partire dai dati multiplex di Brolio è quasi completa, nel senso che gli archi assenti sono pochi (3), pertanto il numero di indipendenze condizionate presenti nella distribuzione sembra piuttosto limitata.

Si deve tuttavia considerare che le nove variabili oggetto di analisi sono il risultato della combinazione di un numero minore di grandezze elementari che sono l'output del dispositivo di misura multiplex. Pertanto i modelli investigati riguardano il margine della distribuzione costituito da variabili interpretabili.

Riferimenti bibliografici

- [1] Berger P.D., Maurer R.E., 2002, Experimental Design with Applications in Management, Engineering and the Sciences, Duxbury.
- [2] Montgomery D.C., 2008, Design and analysis of experiments, Wiley, NJ.
- [3] Hinkelmann K., Kempthorne O. ,2008, Design and analysis of experiments. Volume 1. Introduction to Experimental Design, Wiley, NJ.