

# Metodologia sperimentale per le scienze agrarie

Andrea Onofri e Dario Sacco

Update: v. 1.0 (15/03/2021), compil. 2021-05-05

# Indice

<b>Premessa</b>	<b>9</b>
Obiettivi . . . . .	9
Organizzazione . . . . .	9
Software statistico . . . . .	9
The authors . . . . .	9
Ringraziamenti . . . . .	9
<b>1 Scienza e pseudo-scienza</b>	<b>10</b>
1.1 Scienza = dati . . . . .	12
1.2 Dati ‘buoni’ e ‘cattivi’ . . . . .	12
1.3 Dati ‘buoni’ e metodi ‘buoni’ . . . . .	12
1.4 Il principio di falsificazione . . . . .	12
1.5 Falsificare un risultato . . . . .	12
1.6 Elementi fondamentali del disegno sperimentale . . . . .	12
1.6.1 Controllo degli errori . . . . .	12
1.6.2 Replicazione . . . . .	12
1.6.3 Randomizzazione . . . . .	12
1.6.4 Esperimenti invalidi . . . . .	12
1.7 Chi valuta se un esperimento è attendibile? . . . . .	12
1.8 Conclusioni . . . . .	12
1.9 Altre letture . . . . .	12
<b>2 Progettare un esperimento</b>	<b>13</b>
2.1 Gli elementi della ricerca . . . . .	15
2.2 Ipotesi scientifica → obiettivo dell’esperimento . . . . .	15
2.3 Identificazione dei fattori sperimentali . . . . .	15
2.3.1 Esperimenti (multi-)fattoriali . . . . .	15
2.3.2 Controllo o testimone . . . . .	15
2.4 Le unità sperimentali . . . . .	15
2.5 Allocazione dei trattamenti . . . . .	15

2.6	Le variabili sperimentali . . . . .	15
2.6.1	Variabili nominali (categoriche) . . . . .	15
2.6.2	Variabili ordinali . . . . .	15
2.6.3	Variabili quantitative discrete . . . . .	15
2.6.4	Variabili quantitative continue . . . . .	15
2.6.5	Rilievi visivi e sensoriali . . . . .	15
2.6.6	Variabili di confondimento . . . . .	15
2.7	Esperimenti di campo . . . . .	15
2.7.1	Scegliere il campo . . . . .	15
2.7.2	Le unità sperimentali in campo . . . . .	15
2.7.3	Numero di repliche . . . . .	15
2.7.4	La mappa di campo . . . . .	15
2.7.5	Lay-out sperimentale . . . . .	15
2.8	Altre letture . . . . .	15
<b>3</b>	<b>Richiami di statistica descrittiva</b>	<b>16</b>
3.1	Dati quantitativi . . . . .	17
3.1.1	Indicatori di tendenza centrale . . . . .	17
3.1.2	Indicatori di dispersione . . . . .	17
3.1.3	Incertezza delle misure derivate . . . . .	17
3.1.4	Relazioni tra variabili quantitative: correlazione . . . . .	17
3.2	Dati qualitativi . . . . .	17
3.2.1	Distribuzioni di frequenze e classamento . . . . .	17
3.2.2	Statistiche descrittive per le distribuzioni di frequenze . . . . .	17
3.2.3	Distribuzioni di frequenza bivariate: le tabelle di con- tingenze . . . . .	17
3.2.4	Connessione . . . . .	17
3.3	Statistiche descrittive con R . . . . .	17
3.3.1	Descrizione dei sottogruppi . . . . .	17
3.3.2	Distribuzioni di frequenze e classamento . . . . .	17
3.3.3	Connessione . . . . .	17
3.4	Altre letture . . . . .	17
<b>4</b>	<b>Modelli statistici ed analisi dei dati</b>	<b>18</b>
4.1	Verità ‘vera’ e modelli deterministici . . . . .	19
4.2	Genesi deterministica delle osservazioni sperimentali . . . . .	19
4.3	Errore sperimentale e modelli stocastici . . . . .	19
4.3.1	Funzioni di probabilità . . . . .	19
4.3.2	Funzioni di densità . . . . .	19
4.3.3	La distribuzione normale (curva di Gauss) . . . . .	19
4.4	Modelli ‘a due facce’ . . . . .	19

4.5	E allora? . . . . .	19
4.6	Le simulazioni Monte Carlo . . . . .	19
4.7	Analisi dei dati e ‘model fitting’ . . . . .	19
4.8	Modelli stocastici non-normali . . . . .	19
4.9	Altre letture . . . . .	19
<b>5</b>	<b>Stime ed incertezza</b>	<b>20</b>
5.1	Esempio: una soluzione erbicida . . . . .	22
5.1.1	Analisi dei dati: stima dei parametri . . . . .	22
5.1.2	La ‘sampling distribution’ . . . . .	22
5.1.3	L’errore standard . . . . .	22
5.2	Stima per intervallo . . . . .	22
5.3	L’intervallo di confidenza . . . . .	22
5.4	Qual è il senso dell’intervallo di confidenza? . . . . .	22
5.5	Come presentare i risultati degli esperimenti . . . . .	22
5.6	Alcune precisazioni . . . . .	22
5.6.1	Campioni numerosi e non . . . . .	22
5.6.2	Popolazioni gaussiane e non . . . . .	22
5.7	Analisi statistica dei dati: riassunto del percorso logico . . . . .	22
5.8	Da ricordare . . . . .	22
5.9	Per approfondire un po’... . . . .	22
5.10	Coverage degli intervalli di confidenza . . . . .	22
5.10.1	Intervalli di confidenza per fenomeni non-normali . . . . .	22
5.11	Altre letture . . . . .	22
<b>6</b>	<b>Decisioni ed incertezza</b>	<b>23</b>
6.1	Confronto tra due medie: il test t di Student . . . . .	24
6.1.1	L’ipotesi nulla e alternativa . . . . .	24
6.1.2	La statistica T . . . . .	24
6.1.3	Simulazione Monte Carlo . . . . .	24
6.1.4	Soluzione formale . . . . .	24
6.1.5	Interpretazione del P-level . . . . .	24
6.1.6	Tipologie alternative di test t di Student . . . . .	24
6.2	Confronto tra due proporzioni: il test $\chi^2$ . . . . .	24
6.2.1	Simulazione Monte Carlo . . . . .	24
6.2.2	Soluzione formale . . . . .	24
6.3	Conclusioni e riepilogo . . . . .	24
6.4	Altre letture . . . . .	24
<b>7</b>	<b>Modelli ANOVA ad una via</b>	<b>25</b>
7.1	Caso-studio: confronto tra erbicidi in vaso . . . . .	27

7.2	Descrizione del dataset . . . . .	27
7.3	Definizione di un modello lineare . . . . .	27
7.4	Parametrizzazione del modello . . . . .	27
7.5	Assunzioni di base . . . . .	27
7.6	Fitting del modello: metodo manuale . . . . .	27
7.6.1	Stima dei parametri . . . . .	27
7.6.2	Calcolo dei residui . . . . .	27
7.6.3	Stima di $\sigma$ . . . . .	27
7.7	Scomposizione della varianza . . . . .	27
7.8	Test d'ipotesi . . . . .	27
7.9	Inferenza statistica . . . . .	27
7.10	Fitting del modello con R . . . . .	27
7.11	Medie marginali attese . . . . .	27
7.12	Per concludere ... . . . .	27
7.13	Altre letture . . . . .	27
<b>8</b>	<b>La verifica delle assunzioni di base</b>	<b>28</b>
8.1	Violazioni delle assunzioni di base . . . . .	29
8.2	Procedure diagnostiche . . . . .	29
8.3	Analisi grafica dei residui . . . . .	29
8.3.1	Grafico dei residui contro i valori attesi . . . . .	29
8.3.2	QQ-plot . . . . .	29
8.4	Test d'ipotesi . . . . .	29
8.5	Risultati contraddittori . . . . .	29
8.6	'Terapia' . . . . .	29
8.6.1	Correzione/Rimozione degli outliers . . . . .	29
8.6.2	Correzione del modello . . . . .	29
8.6.3	Trasformazione della variabile indipendente . . . . .	29
8.6.4	Impiego di metodiche statistiche avanzate . . . . .	29
8.6.5	Trasformazioni stabilizzanti . . . . .	29
8.7	Esempio 1 . . . . .	29
8.8	Esempio 2 . . . . .	29
8.9	Altre letture . . . . .	29
<b>9</b>	<b>Contrasti e confronti multipli</b>	<b>30</b>
9.1	Esempio . . . . .	31
9.2	I contrasti . . . . .	31
9.3	I contrasti con R . . . . .	31
9.4	I confronti multipli a coppie (pairwise comparisons) . . . . .	31
9.5	Display a lettere . . . . .	31
9.6	Tassi di errore per confronto e per esperimento . . . . .	31

9.7	Aggiustamento per la molteplicità . . . . .	31
9.8	E le classiche procedure di confronto multiplo? . . . . .	31
9.9	Consigli pratici . . . . .	31
9.10	Altre letture . . . . .	31
<b>10</b>	<b>Modelli ANOVA con fattori di blocco</b>	<b>32</b>
10.1	Caso-studio: confronto tra erbicidi in campo . . . . .	33
10.2	Definizione di un modello lineare . . . . .	33
10.3	Stima dei parametri . . . . .	33
10.3.1	Coefficienti del modello . . . . .	33
10.3.2	Stima di $\sigma$ . . . . .	33
10.4	Scomposizione della varianza . . . . .	33
10.5	Adattamento del modello con R . . . . .	33
10.6	Disegni a quadrato latino . . . . .	33
10.7	Caso studio: confronto tra metodi costruttivi . . . . .	33
10.8	Definizione di un modello lineare . . . . .	33
<b>11</b>	<b>La regressione lineare semplice</b>	<b>34</b>
11.1	Caso studio: effetto della concimazione azotata al frumento . .	35
11.2	Analisi preliminari . . . . .	35
11.3	Definizione del modello lineare . . . . .	35
11.4	Stima dei parametri . . . . .	35
11.5	Valutazione della bontà del modello . . . . .	35
11.5.1	Valutazione grafica . . . . .	35
11.5.2	Errori standard dei parametri . . . . .	35
11.5.3	Test F per la mancanza d'adattamento . . . . .	35
11.5.4	Test F per la bontà di adattamento e coefficiente di determinazione . . . . .	35
11.6	Previsioni . . . . .	35
11.7	Altre letture . . . . .	35
<b>12</b>	<b>Modelli ANOVA a due vie con interazione</b>	<b>36</b>
12.1	Il concetto di 'interazione' . . . . .	37
12.2	Effetti incrociati: interazione tra lavorazioni e diserbo chimico	37
12.3	Definizione del modello lineare . . . . .	37
12.4	Calcoli manuali . . . . .	37
12.4.1	Scomposizione della varianza . . . . .	37
12.5	Calcoli con R . . . . .	37
12.5.1	Model fitting . . . . .	37
12.5.2	Verifica delle assunzioni di base . . . . .	37
12.5.3	Scomposizione della varianza . . . . .	37

12.5.4	Medie marginali attese e confronti multipli con R . . .	37
12.6	Effetti innestati: valutazione di ibridi di mais . . . . .	37
12.7	Definizione del modello lineare . . . . .	37
12.8	Fitting del modello con R . . . . .	37
<b>13</b>	<b>Split-plots, strip-plots e altri disegni sperimentali in campo</b>	<b>38</b>
13.1	Raggruppamenti tra parcelle . . . . .	38
13.2	Esperimenti a split-plot . . . . .	38
13.2.1	Definizione del modello lineare . . . . .	38
13.2.2	Model fitting con R . . . . .	38
13.3	Esperimenti a strip-plot . . . . .	38
13.3.1	Definizione del modello lineare . . . . .	38
13.3.2	Model fitting con R . . . . .	38
13.4	Altre letture . . . . .	38
<b>14</b>	<b>La regressione non-lineare</b>	<b>39</b>
14.1	Caso studio: degradazione di un erbicida nel terreno . . . . .	41
14.2	Scelta della funzione . . . . .	41
14.3	Stima dei parametri . . . . .	41
14.3.1	Linearizzazione della funzione . . . . .	41
14.3.2	Approssimazione della vera funzione tramite una poli- nomiale in X . . . . .	41
14.3.3	Minimi quadrati non-lineari . . . . .	41
14.4	La regressione non-lineare con R . . . . .	41
14.5	Verifica della bontà del modello . . . . .	41
14.5.1	Analisi grafica dei residui . . . . .	41
14.5.2	Test F per la mancanza di adattamento (approssimato)	41
14.5.3	Errori standard dei parametri . . . . .	41
14.5.4	Coefficienti di determinazione . . . . .	41
14.6	Funzioni lineari e nonlineari dei parametri . . . . .	41
14.7	Previsioni . . . . .	41
14.8	Gestione delle situazioni ‘patologiche’ . . . . .	41
14.8.1	Trasformazione del modello . . . . .	41
14.8.2	Trasformazione dei dati . . . . .	41
14.9	Per approfondire un po’... . . . .	41
14.9.1	Riparametrizzazione delle funzioni non-lineari . . . . .	41
14.9.2	Altre letture . . . . .	41
<b>15</b>	<b>Esercizi</b>	<b>42</b>
15.1	Capitoli 1 e 2 . . . . .	44
15.1.1	Esercizio 1 . . . . .	44

15.2	Capitolo 3 . . . . .	44
15.2.1	Esercizio 1 . . . . .	44
15.2.2	Esercizio 2 . . . . .	44
15.2.3	Esercizio 3 . . . . .	44
15.3	Capitolo 4 . . . . .	44
15.3.1	Esercizio 1 . . . . .	44
15.3.2	Esercizio 2 . . . . .	44
15.3.3	Esercizio 3 . . . . .	44
15.3.4	Esercizio 4 . . . . .	44
15.3.5	Esercizio 5 . . . . .	44
15.3.6	Esercizio 6 . . . . .	44
15.3.7	Esercizio 7 . . . . .	44
15.3.8	Esercizio 8 . . . . .	44
15.4	Capitolo 5 . . . . .	44
15.4.1	Esercizio 1 . . . . .	44
15.4.2	Esercizio 2 . . . . .	44
15.4.3	Esercizio 3 . . . . .	44
15.4.4	Esercizio 4 . . . . .	44
15.4.5	Esercizio 5 . . . . .	44
15.5	Capitolo 6 . . . . .	44
15.5.1	Esercizio 1 . . . . .	44
15.5.2	Esercizio 2 . . . . .	44
15.5.3	Esercizio 3 . . . . .	44
15.5.4	Esercizio 4 . . . . .	44
15.5.5	Esercizio 5 . . . . .	44
15.5.6	Esercizio 6 . . . . .	44
15.5.7	Esercizio 7 . . . . .	44
15.5.8	Esercizio 8 . . . . .	44
15.5.9	Esercizio 9 . . . . .	44
15.5.10	Esercizio 10 . . . . .	44
15.6	Capitoli da 7 a 9 . . . . .	44
15.6.1	Esercizio 1 . . . . .	44
15.6.2	Esercizio 2 . . . . .	44
15.6.3	Esercizio 3 . . . . .	44
15.6.4	Esercizio 4 . . . . .	44
15.7	Capitolo 10 . . . . .	44
15.7.1	Esercizio 1 . . . . .	44
15.7.2	Esercizio 2 . . . . .	44
15.7.3	Esercizio 3 . . . . .	44
15.8	Capitolo 11 . . . . .	44
15.8.1	Esercizio 1 . . . . .	44



15.8.2 Esercizio 2 . . . . .	44
15.9 Capitoli 12 e 13 . . . . .	44
15.9.1 Esercizio 1 . . . . .	44
15.9.2 Esercizio 2 . . . . .	44
15.9.3 Esercizio 3 . . . . .	44
15.9.4 Esercizio 4 . . . . .	44
15.9.5 Esercizio 5 . . . . .	44
15.9.6 Esercizio 6 . . . . .	44
15.10 Capitolo 14 . . . . .	44
15.10.1 Esercizio 1 . . . . .	44
15.10.2 Esercizio 2 . . . . .	44
15.10.3 Esercizio 3 . . . . .	44
15.10.4 Esercizio 4 . . . . .	44
15.10.5 Esercizio 5 . . . . .	44
15.10.6 Esercizio 6 . . . . .	44
15.10.7 Esercizio 7 . . . . .	44
<b>16 Appendice 1: breve introduzione ad R</b>	<b>45</b>
Cosa è R? . . . . .	46
Oggetti e assegnazioni . . . . .	46
Costanti e vettori . . . . .	46
Matrici . . . . .	46
Dataframe . . . . .	46
Quale oggetto sto utilizzando? . . . . .	46
Operazioni ed operatori . . . . .	46
Funzioni ed argomenti . . . . .	46
Consigli per l'immissione di dati sperimentali . . . . .	46
Immissione di numeri progressivi . . . . .	46
Immissione dei codici delle tesi e dei blocchi . . . . .	46
Immissione dei valori e creazione del dataframe . . . . .	46
Leggere e salvare dati esterni . . . . .	46
Alcune operazioni comuni sul dataset . . . . .	46
Selezionare un subset di dati . . . . .	46
Ordinare un vettore o un dataframe . . . . .	46
Workspace . . . . .	46
Script o programmi . . . . .	46
Interrogazione di oggetti . . . . .	46
Altre funzioni matriciali . . . . .	46
Cenni sulle funzionalità grafiche in R . . . . .	46
Altre letture . . . . .	46

# Premessa

Placeholder

## Obiettivi

## Organizzazione

## Software statistico

## The authors

## Ringraziamenti

# Capitolo 1

## Scienza e pseudo-scienza

Placeholder



## 1.1 Scienza = dati

## 1.2 Dati ‘buoni’ e ‘cattivi’

## 1.3 Dati ‘buoni’ e metodi ‘buoni’

## 1.4 Il principio di falsificazione

## 1.5 Falsificare un risultato

## 1.6 Elementi fondamentali del disegno sperimentale

### 1.6.1 Controllo degli errori

### 1.6.2 Replicazione

### 1.6.3 Randomizzazione

### 1.6.4 Esperimenti invalidi

Cattivo controllo degli errori

‘Confounding’ e correlazione spuria

Pseudo-repliche e randomizzazione poco attenta

## 1.7 Chi valuta se un esperimento è attendibile?

## 1.8 Conclusioni

## 1.9 Altre letture

## Capitolo 2

# Progettare un esperimento

Placeholder



## **2.1 Gli elementi della ricerca**

## **2.2 Ipotesi scientifica → obiettivo dell'esperimento**

## **2.3 Identificazione dei fattori sperimentali**

### **2.3.1 Esperimenti (multi-)fattoriali**

### **2.3.2 Controllo o testimone**

## **2.4 Le unità sperimentali**

## **2.5 Allocazione dei trattamenti**

## **2.6 Le variabili sperimentali**

### **2.6.1 Variabili nominali (categoriche)**

### **2.6.2 Variabili ordinali**

### **2.6.3 Variabili quantitative discrete**

### **2.6.4 Variabili quantitative continue**

### **2.6.5 Rilievi visivi e sensoriali**

### **2.6.6 Variabili di confondimento**

## **2.7 Esperimenti di campo**

### **2.7.1 Scegliere il campo**

### **2.7.2 Le unità sperimentali in campo**

### **2.7.3 Numero di repliche**

### **2.7.4 La mappa di campo**

### **2.7.5 Lay-out sperimentale**



# Capitolo 3

## Richiami di statistica descrittiva

Placeholder

## 3.1 Dati quantitativi

### 3.1.1 Indicatori di tendenza centrale

### 3.1.2 Indicatori di dispersione

### 3.1.3 Incertezza delle misure derivate

### 3.1.4 Relazioni tra variabili quantitative: correlazione

## 3.2 Dati qualitativi

### 3.2.1 Distribuzioni di frequenze e classamento

### 3.2.2 Statistiche descrittive per le distribuzioni di frequenze

### 3.2.3 Distribuzioni di frequenza bivariate: le tabelle di contingenze

### 3.2.4 Connessione

## 3.3 Statistiche descrittive con R

### 3.3.1 Descrizione dei sottogruppi

### 3.3.2 Distribuzioni di frequenze e classamento

### 3.3.3 Connessione

## 3.4 Altre letture

## Capitolo 4

# Modelli statistici ed analisi dei dati

Placeholder

- 4.1 Verità ‘vera’ e modelli deterministici
- 4.2 Genesi deterministica delle osservazioni sperimentali
- 4.3 Errore sperimentale e modelli stocastici
  - 4.3.1 Funzioni di probabilità
  - 4.3.2 Funzioni di densità
  - 4.3.3 La distribuzione normale (curva di Gauss)
- 4.4 Modelli ‘a due facce’
- 4.5 E allora?
- 4.6 Le simulazioni Monte Carlo
- 4.7 Analisi dei dati e ‘model fitting’
- 4.8 Modelli stocastici non-normali
- 4.9 Altre letture

# Capitolo 5

## Stime ed incertezza

Placeholder



## 5.1 Esempio: una soluzione erbicida

### 5.1.1 Analisi dei dati: stima dei parametri

### 5.1.2 La ‘sampling distribution’

### 5.1.3 L’errore standard

## 5.2 Stima per intervallo

## 5.3 L’intervallo di confidenza

## 5.4 Qual è il senso dell’intervallo di confidenza?

## 5.5 Come presentare i risultati degli esperimenti

## 5.6 Alcune precisazioni

### 5.6.1 Campioni numerosi e non

### 5.6.2 Popolazioni gaussiane e non

## 5.7 Analisi statistica dei dati: riassunto del percorso logico

## 5.8 Da ricordare

## 5.9 Per approfondire un po’...

## 5.10 *Coverage* degli intervalli di confidenza

### 5.10.1 Intervalli di confidenza per fenomeni non-normali

## 5.11 Altre letture

# Capitolo 6

## Decisioni ed incertezza

Placeholder



## **6.1 Confronto tra due medie: il test t di Student**

### **6.1.1 L'ipotesi nulla e alternativa**

### **6.1.2 La statistica T**

### **6.1.3 Simulazione Monte Carlo**

### **6.1.4 Soluzione formale**

### **6.1.5 Interpretazione del P-level**

### **6.1.6 Tipologie alternative di test t di Student**

## **6.2 Confronto tra due proporzioni: il test $\chi^2$**

### **6.2.1 Simulazione Monte Carlo**

### **6.2.2 Soluzione formale**

## **6.3 Conclusioni e riepilogo**

## **6.4 Altre letture**

# Capitolo 7

## Modelli ANOVA ad una via

Placeholder



- 7.1 Caso-studio: confronto tra erbicidi in vaso
- 7.2 Descrizione del dataset
- 7.3 Definizione di un modello lineare
- 7.4 Parametrizzazione del modello
- 7.5 Assunzioni di base
- 7.6 Fitting del modello: metodo manuale
  - 7.6.1 Stima dei parametri
  - 7.6.2 Calcolo dei residui
  - 7.6.3 Stima di  $\sigma$
- 7.7 Scomposizione della varianza
- 7.8 Test d'ipotesi
- 7.9 Inferenza statistica
- 7.10 Fitting del modello con R
- 7.11 Medie marginali attese
- 7.12 Per concludere ...
- 7.13 Altre letture

# Capitolo 8

## La verifica delle assunzioni di base

Placeholder

## 8.1 Violazioni delle assunzioni di base

## 8.2 Procedure diagnostiche

## 8.3 Analisi grafica dei residui

### 8.3.1 Grafico dei residui contro i valori attesi

### 8.3.2 QQ-plot

## 8.4 Test d'ipotesi

## 8.5 Risultati contraddittori

## 8.6 'Terapia'

### 8.6.1 Correzione/Rimozione degli outliers

### 8.6.2 Correzione del modello

### 8.6.3 Trasformazione della variabile indipendente

### 8.6.4 Impiego di metodiche statistiche avanzate

### 8.6.5 Trasformazioni stabilizzanti

## 8.7 Esempio 1

## 8.8 Esempio 2

## 8.9 Altre letture

# Capitolo 9

## Contrasti e confronti multipli

Placeholder

- 9.1** Esempio
- 9.2** I contrasti
- 9.3** I contrasti con R
- 9.4** I confronti multipli a coppie (pairwise comparisons)
- 9.5** Display a lettere
- 9.6** Tassi di errore per confronto e per esperimento
- 9.7** Aggiustamento per la molteplicità
- 9.8** E le classiche procedure di confronto multiplo?
- 9.9** Consigli pratici
- 9.10** Altre letture



# Capitolo 10

## Modelli ANOVA con fattori di blocco

Placeholder

**10.1 Caso-studio: confronto tra erbicidi in campo**

**10.2 Definizione di un modello lineare**

**10.3 Stima dei parametri**

**10.3.1 Coefficienti del modello**

**10.3.2 Stima di  $\sigma$**

**10.4 Scomposizione della varianza**

**10.5 Adattamento del modello con R**

**10.6 Disegni a quadrato latino**

**10.7 Caso studio: confronto tra metodi costruttivi**

**10.8 Definizione di un modello lineare**

# Capitolo 11

## La regressione lineare semplice

Placeholder

## **11.1 Caso studio: effetto della concimazione azotata al frumento**

## **11.2 Analisi preliminari**

## **11.3 Definizione del modello lineare**

## **11.4 Stima dei parametri**

## **11.5 Valutazione della bontà del modello**

### **11.5.1 Valutazione grafica**

### **11.5.2 Errori standard dei parametri**

### **11.5.3 Test F per la mancanza d'adattamento**

### **11.5.4 Test F per la bontà di adattamento e coefficiente di determinazione**

## **11.6 Previsioni**

## **11.7 Altre letture**

# Capitolo 12

## Modelli ANOVA a due vie con interazione

Placeholder

## 12.1 Il concetto di 'interazione'

## 12.2 Effetti incrociati: interazione tra lavorazioni e diserbo chimico

## 12.3 Definizione del modello lineare

## 12.4 Calcoli manuali

### 12.4.1 Scomposizione della varianza

## 12.5 Calcoli con R

### 12.5.1 Model fitting

### 12.5.2 Verifica delle assunzioni di base

### 12.5.3 Scomposizione della varianza

### 12.5.4 Medie marginali attese e confronti multipli con R

## 12.6 Effetti innestati: valutazione di ibridi di mais

## 12.7 Definizione del modello lineare

## 12.8 Fitting del modello con R

# Capitolo 13

## Split-plots, strip-plots e altri disegni sperimentali in campo

Placeholder

### 13.1 Raggruppamenti tra parcelle

### 13.2 Esperimenti a split-plot

#### 13.2.1 Definizione del modello lineare

#### 13.2.2 Model fitting con R

### 13.3 Esperimenti a strip-plot

#### 13.3.1 Definizione del modello lineare

#### 13.3.2 Model fitting con R

### 13.4 Altre letture

# Capitolo 14

## La regressione non-lineare

Placeholder





- 14.1 Caso studio: degradazione di un erbicida nel terreno
- 14.2 Scelta della funzione
- 14.3 Stima dei parametri
  - 14.3.1 Linearizzazione della funzione
  - 14.3.2 Approssimazione della vera funzione tramite una polinomiale in  $X$
  - 14.3.3 Minimi quadrati non-lineari
- 14.4 La regressione non-lineare con R
- 14.5 Verifica della bontà del modello
  - 14.5.1 Analisi grafica dei residui
  - 14.5.2 Test F per la mancanza di adattamento (approssimato)
  - 14.5.3 Errori standard dei parametri
  - 14.5.4 Coefficienti di determinazione
- 14.6 Funzioni lineari e nonlineari dei parametri
- 14.7 Previsioni
- 14.8 Gestione delle situazioni ‘patologiche’
  - 14.8.1 Trasformazione del modello
  - 14.8.2 Trasformazione dei dati
- 14.9 Per approfondire un po’...

# Capitolo 15

## Esercizi

Placeholder



## 15.1 Capitoli 1 e 2

### 15.1.1 Esercizio 1

## 15.2 Capitolo 3

### 15.2.1 Esercizio 1

### 15.2.2 Esercizio 2

### 15.2.3 Esercizio 3

## 15.3 Capitolo 4

### 15.3.1 Esercizio 1

### 15.3.2 Esercizio 2

### 15.3.3 Esercizio 3

### 15.3.4 Esercizio 4

### 15.3.5 Esercizio 5

### 15.3.6 Esercizio 6

### 15.3.7 Esercizio 7

### 15.3.8 Esercizio 8

## 15.4 Capitolo 5

### 15.4.1 Esercizio 1

### 15.4.2 Esercizio 2

### 15.4.3 Esercizio 3

### 15.4.4 Esercizio 4

### 15.4.5 Esercizio 5

# Capitolo 16

## Appendice 1: breve introduzione ad R

Placeholder

## Cosa è R?

## Oggetti e assegnazioni

Costanti e vettori

Matrici

Dataframe

Quale oggetto sto utilizzando?

## Operazioni ed operatori

## Funzioni ed argomenti

## Consigli per l'immissione di dati sperimentali

Immissione di numeri progressivi

Immissione dei codici delle tesi e dei blocchi

Immissione dei valori e creazione del dataframe

Leggere e salvare dati esterni

## Alcune operazioni comuni sul dataset

Selezionare un subset di dati

Ordinare un vettore o un dataframe

## Workspace

## Script o programmi

## Interrogazione di oggetti