

Didattica integRativa

EseRcitazioni pRatiche con il software R

dott. Luca Menghini Ph.D.

Assegnista di ricerca, Dipartimento di Psicologia,
Università degli Studi di Bologna

luca.menghini3@unibo.it

Analisi dei dati in ambito di comunità

Corso di laurea magistrale in Psicologia di comunità, della promozione
del benessere e del cambiamento sociale

Università degli Studi di Padova
Anno Accademico 2021 - 2022



Mi presento

- **2014: Triennale in Scienze Psicologiche Sociali e del Lavoro @uniPD**
“Biofeedback training per la gestione dello stress nei contesti organizzativi”
- **2016: Magistrale in Psicologia Sociale, del Lavoro e della Com. @uniPD**
“Un Protocollo di Assessment Psicofisiologico per la Valutazione del Rischio Stress lavoro-correlato”
- **2017: Tirocinio post-laurem presso Inside Performance (stress management & biofeedback in contesti organizzativi e sportivi) + Laboratorio di psicofisiologia @uniPD (processamento dati e accuratezza sensori actigrafici)** ← 
(processamento dati e accuratezza sensori actigrafici)
- **2017-2021: Dottorato in Scienze Psicologiche @uniPD**
“Workplace stress in real time: Towards the psychophysiological assessment of stressors and strain under ecological conditions”
- **2020: Esperienza di ricerca all'estero @SRI International (CA, USA)**
Accuratezza e uso Sleep Consumer Technology, Relazioni giornaliere tra sonno e stress
- **2021: Assegno di ricerca @uniBO**
“State workaholism as a predictor of daily fluctuations in blood pressure, emotional exhaustion, and sleep quality”

Obiettivi delle eseRcitazioni

- Acquisire competenze di base nell'uso del software R
- Consolidare le conoscenze apprese nel corso
- Implementare le tecniche analitiche apprese durante il corso utilizzando il software R su dataset reali
- Svolgere insieme gli esercizi propedeutici all'esame

Le slide e tutti materiali usati nelle eseRcitazioni verranno di volta in volta caricati e aggiornati sulla repository all'indirizzo

<https://github.com/Luca-Menghini/eseRcitazioni>

Programma incontri facoltativi

- **Giorno 1: Get started**

Installare R e RStudio, acquisire confidenza con l'interfaccia del software, e alcuni comandi di base

- **Giorno 2: R objects**

Vettori, fattori, matrici e dataframe

- **Giorno 3: R workspace**

Worskpace e working directory, caricare un dataset e calcolare le principali statistiche descrittive

- **Giorno 4: R Graphics**

Visualizzare i dati e interpretare i principali tipi di grafici

- **Giorno 5: Linear Models**

Modelli di regressione lineare semplice e multipla

- **Giorno 6: Regressione multilivello & SEM**

Modelli lineari a effetti misti e path analysis

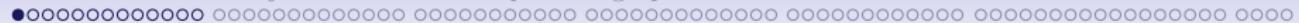
[Get started](#)

[R objects](#)

[R workspace](#) [R graphics](#)

[Linear models](#) [LMER & SEM](#)

[Risorse](#)



Get started

Il linguaggio R



- R è un linguaggio e un ambiente di programmazione per il **calcolo statistico** e la **visualizzazione grafica** dei dati
 - basato sul ‘linguaggio S’ (Becker & Chambers, 1984), usato per creare il software S-Plus e poi R, creato da Ross Ihaka e Robert Gentleman, nel 1996
 - oggi sviluppato da un gruppo di ricerca internazionale (*R Core Team*), che aggiorna periodicamente (ogni anno) il programma di base (*Base R*)
 - progressiva ed esponenziale aggiunta di nuovi pacchetti (*packages*) che ne estendono le funzionalità

Il linguaggio R



- ampia varietà di tecniche statistiche (es. modelli lineari e non lineari) e grafiche (es. pacchetto **ggplot2** - [link a lezione dedicata](#))
 - pensato per essere **semplice** ma al contempo in grado di generare **output di alta qualità** (grafici, tabelle e report con equazioni e simboli matematici, ecc.); funzioni di default ottimizzate + possibilità di avere il **pieno controllo**
 - **software gratuito** (GNU General Public License), **open source** (ogni funzione è documentata e visibile in dettaglio) che funziona su tutti i **principali sistemi operativi**: Windows, MacOS, e UNIX (es. Linux)
 - enorme comunità di utenti (per qualsiasi problema, basta googlare ;-))

Scaricare e installare R

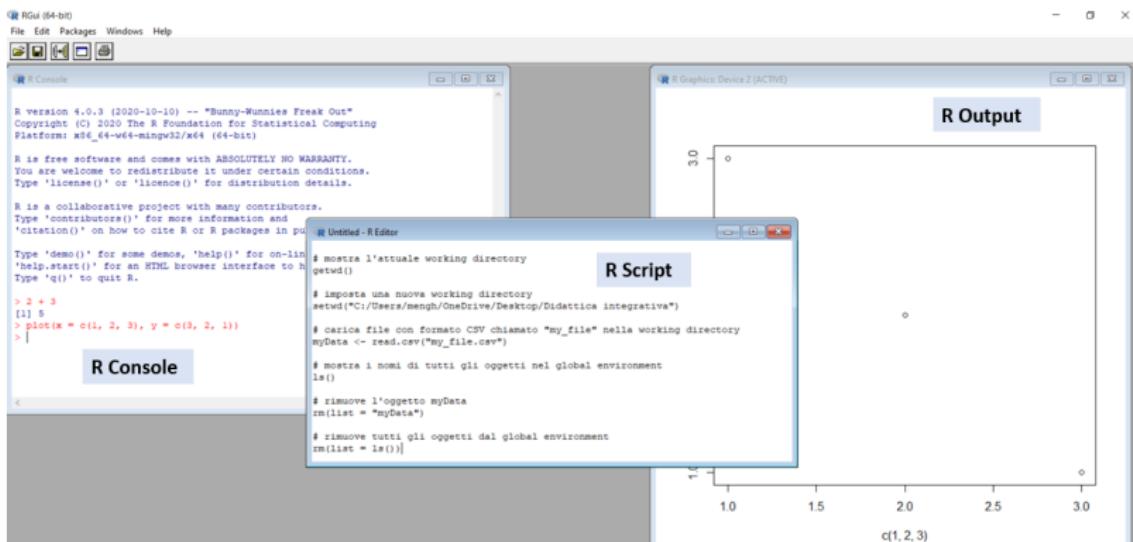


1. Scaricare R dal sito <https://www.r-project.org/>

CRAN (*Comprehensive R Archive Network*): rete di server che offrono le versioni aggiornate e la relativa documentazione

2. Cliccare sulla voce **CRAN** nel menu *Download* a sinistra, selezionare un mirror (es. [il primo](#), oppure [quello dell'Università di Padova](#)), quindi il proprio sistema operativo (Linux, MacOS, o Windows)
3. Installare R aprendo il file .exe (Windows) o .pkg (MacOS) appena scaricato, oppure seguire i comandi in base alla propria versione di Linux

L'interfaccia di Base R



- **R Console**: per scrivere (>) ed eseguire (tasto Enter) velocemente dei comandi
- **R Script** (menu File > New R Script): per scrivere, modificare e salvare sequenze di comandi (salvati con formato .R)
- **Outputs** (es. plot): finestre che si aprono lanciando il relativo comando

Alcuni comandi elementari

Commenti (#)

```
# questo è un commento
```

Semplici operazioni matematiche

```
2 + 2 # addizione
```

```
[1] 4
```

```
2 * 2 # moltiplicazione
```

```
[1] 4
```

```
log(3) # logaritmo naturale
```

```
[1] 1.098612
```

```
exp(1) # funzione esponenziale
```

```
[1] 2.718282
```

Espressioni più lunghe (con parentesi tonde)

```
sqrt(5) * ( (4 - 1/2)^2 - pi/2^(1/3) )
```

```
[1] 21.81623
```

Assegnare valori a degli **oggetti** (<-)

```
x <- 3 # creo oggetto 'x' associato al valore 3
```

```
x # stampo il valore di x
```

```
[1] 3
```

I nomi degli oggetti possono includere lettere, numeri, trattini bassi e punti (es. pippo, pippo32, pippo.32, pippo_32)

```
pippo_32 <- x / 3
```

```
pippo_32 # stampo il valore di pippo_32
```

```
[1] 1
```

R è sensibile alle maiuscole!

Mentre non è sensible agli spazi

```
3+2
```

```
[1] 5
```

```
3      +  2
```

```
[1] 5
```

Hands on: Operazioni aritmetiche con R

Calcola il risultato delle seguenti operazioni utilizzando R ([soluzioni](#)):

Source: <https://psicostat.github.io/Introduction2R/first-comands.html#esercizi>

$$1. \frac{(45+21)^3 + \frac{3}{4}}{\sqrt{32 - \frac{12}{17}}}$$

$$2. \frac{\sqrt{7-\pi}}{3(45-34)}$$

$$3. \sqrt[3]{12 - e^2} + \ln(10\pi)$$

$$4. \frac{\sin(\frac{3}{4}\pi)^2 + \cos(\frac{3}{2}\pi)}{\log_7 e^{\frac{3}{2}}}$$

$$5. \sum_{n=1}^{10} n$$

Extra: Assegna il risultato dell'operazione 4 all'oggetto **x**, il risultato della 5 all'oggetto **y**, e calcola la somma **x + y**

RStudio



- RStudio è un ambiente di sviluppo integrato per R, che lo integra con **un'interfaccia grafica ottimizzata** per facilitarne l'utilizzo (es. accesso a file e oggetti, grafici, dataset, ecc.) presentando tutto in un'unica finestra
- fondato da J J Allaire nel 2009 (scritto con linguaggio Java e C++), gestito e sviluppato da gruppo di ricerca internazionale (gli stessi di **tidyverse** e **shiny**)
- **gratuito e open source** (GNU General Public License) + versioni a pagamento

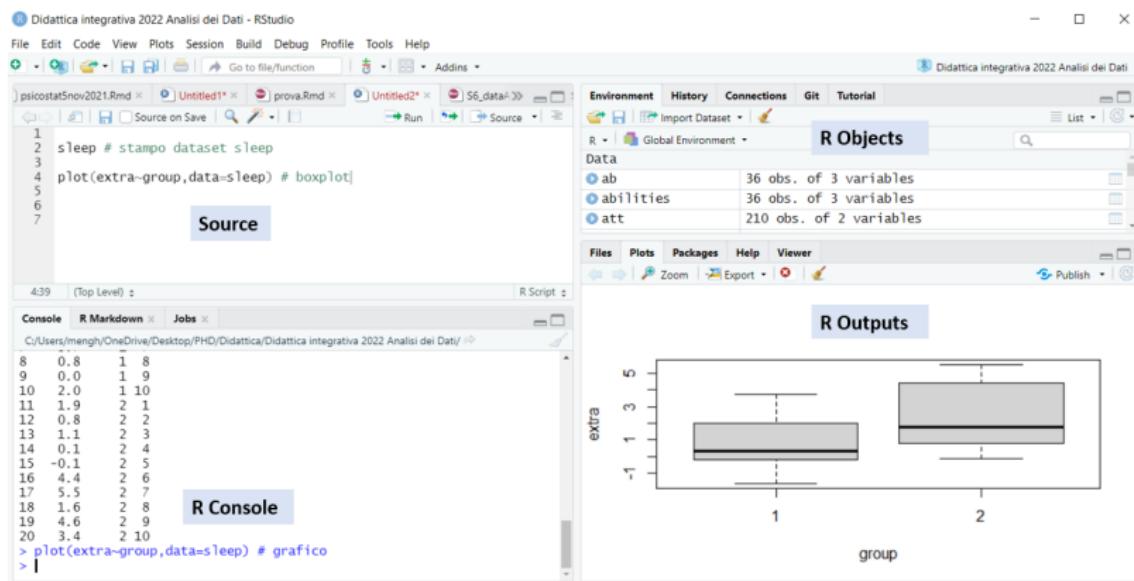
Scaricare e installare RStudio



NB: soltanto **dopo** aver installato R

1. Scaricare RStudio dal sito <https://rstudio.com>
2. Cliccare sulla voce **Download** nel menu in alto, selezionare la versione gratuita (FREE) di **RStudio Desktop**, quindi il proprio sistema operativo
3. Installare RStudio aprendo il file appena scaricato

L'interfaccia di RStudio



- **Source:** R Scripts (.R), documenti e presentazioni (.Rmd), applicazioni (.app), ecc. Per lanciare uno o più comandi, selezionali e premi **Ctrl + Enter** oppure clicca sul tasto **Run** in alto a destra
- **Environment** (oggetti presenti nel workspace) & **History** (storico comandi eseguiti)

Hands on: Operatori relazionali e logici

Operatori relazionali

```
3 == 3 # uguale  
[1] TRUE  
  
3 != 3 # diverso  
[1] FALSE  
  
x >= 3 # maggiore o uguale  
[1] TRUE  
  
5 %in% c(3, 5, 8) # inclusione  
[1] TRUE
```

Operatori logici

```
x <- TRUE  
  
y <- !x # negazione  
  
y  
[1] FALSE  
  
x & (5 < 2) # congiunzione  
[1] FALSE  
  
x | (5 < 2) # disgiunzione inclusiva  
[1] TRUE
```

Esercizi sugli operatori relazionali e logici:

Source: <https://psicostat.github.io/Introduction2R/first-comands.html#esercizi>

1. Definisci una proposizione per valutare la seguente condizione: “x è un numero compreso tra -4 e -2 oppure è un numero compreso tra 2 e 4”
2. Definisici due relazioni false e due vere che ti permettano di valutare i risultati di tutti i possibili incroci che puoi ottenere con gli operatori logici & e |
3. Esegui le seguenti operazioni $4 ^ 3 \%in\% c(2,3,4)$ e $4 * 3 \%in\% c(2,3,4)$. Cosa osservi nell’ordine di esecuzione degli operatori?

Oggetti e funzioni

- **Oggetti:** identificano dei valori salvati nel workspace (**Environment**); i valori vengono assegnati agli oggetti con il simbolo `<-` (minore e meno); per richiamare un oggetto è sufficiente scrivere il suo nome

```
pippo_32 <- 2 # assegno valore a oggetto  
pippo_32 # stampo oggetto  
[1] 2  
pippo_32 <- pippo_32 + 1 # aggiorno oggetto  
pippo_32  
[1] 3
```

- **Funzioni:** etichette associate a sequenze di comandi programmati per restituire uno specifico output (chiamato **valore**) sulla base di uno o più input (chiamati **argomenti**); il nome della funzione è sempre seguito dalle parentesi tonde, entro le quali si impostano gli argomenti (spesso ci sono dei valori di default)

```
sqrt(x = 9) # radice quadrata dell'argomento x  
[1] 3  
seq(from = 1, to = 5) # sequenza numerica dal valore 'from' al valore 'to'  
[1] 1 2 3 4 5
```

Tipi (classi) di oggetti

Logical (logico)

```
x <- TRUE  
  
x <- T  
  
class(x)  
  
[1] "logical"
```

Numeric (numeri)

```
x <- 1.4  
  
class(x)  
  
[1] "numeric"
```

Integer (numeri interi)

```
as.integer(x)  
  
[1] 1
```

Character (stringa di testo)

```
x <- "Mi piace R"  
  
x  
  
[1] "Mi piace R"
```

Vector (vettore): serie di valori con la stessa classe (es. numeric) combinati con la funzione `c()` (combine)

```
x <- c(1, 10.5, 3, 2)  
  
x + 1  
  
[1] 2.0 11.5 4.0 3.0  
  
sqrt(x)  
  
[1] 1.000000 3.240370 1.732051 1.414214  
  
y <- c("mi", "piace", "R")
```

Matrix (matrice): tabella `nrow * ncol`

```
x <- matrix(1:12, nrow = 3, ncol = 4)  
  
rownames(x) <- y # nomi di riga  
  
x  
  
[,1] [,2] [,3] [,4]  
mi      1     4     7    10  
piace   2     5     8    11  
R        3     6     9    12
```

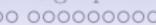
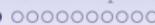
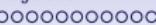
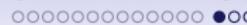
Get started

R objects

R workspace R graphics

Linear models LMER & SEM

Risorse



R objects

Tipi (classi) di oggetti: vector

Un vettore (*vector*) è una **sequenza di elementi dello stesso tipo** (classe), che può essere creata con la funzione `c()` (*combine*) o con altre funzioni.

```
x <- c(1, 10.5, 3, 2) # creo vettore numerico
y <- 1:10 # un altro vettore numerico
(z <- rep(c(TRUE, FALSE), each = 2)) # vettore logico
[1] TRUE TRUE FALSE FALSE
as.character(x) # converte la classe del vettore da numeric a character
[1] "1"    "10.5" "3"    "2"
as.numeric(z) # da logical a numeric (FALSE = 0, TRUE = 1)
[1] 1 1 0 0
```

Applicando un'operazione o una funzione al vettore, questa viene applicata a tutti i suoi elementi.

```
y*2 # moltiplica tutti i valori per 2
[1] 2 4 6 8 10 12 14 16 18 20
round(sqrt(y), 2) # rad. quadrata dei valori di y, arrotondati a 2 decimali
[1] 1.00 1.41 1.73 2.00 2.24 2.45 2.65 2.83 3.00 3.16
```

Tipi (classi) di oggetti: vector

Alcune funzioni restituiscono un unico valore a partire da un vettore di valori.

```
length(y) # numero di elementi nel vettore  
[1] 10
```

Ad esempio, per calcolare delle **statistiche descrittive su vettori numerici**:

```
sum(y) # somma gli elementi nel vettore  
[1] 55  
  
max(y) # valore massimo  
[1] 10  
  
mean(y) # media  
[1] 5.5  
  
median(y) # mediana  
[1] 5.5  
  
var(y) # varianza  
[1] 9.166667  
  
sd(y) # deviazione standard  
[1] 3.02765
```

Tipi (classi) di oggetti: vector

Le **parentesi quadre []** permettono di **selezionare uno o più elementi** del vettore.

```
pippo32 <- c("uno", "due", "tre", "quattro", "cinque") # vettore di caratteri
pippo32[3] # seleziono il terzo valore di pippo32
[1] "tre"
pippo32[3:4] # terzo e quarto valore del vettore pippo32
[1] "tre"      "quattro"
pippo32[c(4, 2)] # quarto e secondo valore (non scrivere pippo32[4,3] !)
[1] "quattro"  "due"
```

Ad esempio, si possono selezionare gli **elementi che rispettano certe condizioni**, usando gli operatori logici e relazionali:

```
y[y <= 3 | y > 8] # valori di y minori o uguali a 3 o maggiori di 8
[1] 1 2 3 9 10
pippo32[pippo32 != "due"] # valori di pippo32 diversi da "due"
[1] "uno"      "tre"       "quattro"   "cinque"
pippo32[substr(pippo32, 2, 2) == "u"] # valori con lettera "u" in 2a posizione
[1] "due"      "quattro"
```

Tipi (classi) di oggetti: vector

La funzione `which()` restituisce la **posizione** degli elementi per cui è vera una condizione specificata.

```
substr(pippo32, 2, 2) == "u" # testa l'equivalenza per ogni elemento
[1] FALSE TRUE FALSE TRUE FALSE
which(substr(pippo32, 2, 2) == "u") # elementi con equivalenza TRUE
[1] 2 4
pippo32[substr(pippo32,2,2)=="u"] == pippo32[which(substr(pippo32,2,2)=="u")]
[1] TRUE TRUE
```

Per **cambiare** uno o più elementi di un vettore, usa il simbolo `<-`

```
pippo32[1] <- "UNO!"
```

Per **eliminare** uno o più elementi da un vettore, usa il simbolo `-`

```
pippo32[-c(2, 4)]
[1] "UNO!"    "tre"     "cinque"
```

Tipi (classi) di oggetti: factor

Un fattore (*factor*) è un tipo speciale di vettore usato in R per lavorare con le **variabili categoriali** (nominali o ordinali). I valori possibili assunti dal fattore sono chiamati **livelli** (*levels*), di default ordinati in ordine crescente (numerico o alfabetico).

```

as.factor(pippo32) # da character a factor

[1] UNO!      due      tre      quattro  cinque

Levels: cinque due quattro tre UNO!

# summary() mostra un sommario della variabile

summary(pippo32)

  Length     Class    Mode
      5 character character

# per i fattori, mostra la freq. di ogni livello

summary(as.factor(pippo32)) # equivale a table()

  cinque      due quattro      tre      UNO!
      1          1          1          1

```

```
y <- rep(c(2,4,6),3)
[1] 2 4 6 2 4 6 2 4 6
as.factor(y) # da numeric a factor
[1] 2 4 6 2 4 6 2 4 6
Levels: 2 4 6
summary(y)
   Min. 1st Qu. Median      Mean 3rd Qu.      Max.
       2         2         4         4         6         6
summary(as.factor(y))
2 4 6
3 3 3
```

Tipi (classi) di oggetti: factor

Creare un fattore con la funzione factor():

```
factor(x = c("C",rep("A",3),c("B","A","C")))

[1] C A A A B A C

Levels: A B C

(x <- factor(x = c("C","A","B","A"), # vettore

               levels = c("C","A","B"))) # livelli

[1] C A B A

Levels: C A B

levels(x) # levels() stampa i nomi dei livelli

[1] "C" "A" "B"

factor(x, levels=c("B","A","C")) # cambia ordine

[1] C A B A

Levels: B A C

levels(x) <- c("Uno","Due","Tre") # cambia nomi

x

[1] Uno Due Tre Due

Levels: Uno Due Tre
```

Quando si lavora con **variabili ordinali**, è possibile specificare l'ordine dei livelli impostando l'argomento **ordered = TRUE**. Viene così generato un **fattore ordinato**, sempre seguendo l'ordine definito da **levels**.

```
# fattore non ordinato (default)
factor(x = c("Maria", "Mauro", "Teresa", "Carlo"))

[1] Maria Mauro Teresa Carlo
Levels: Carlo Maria Mauro Teresa

# fattore ordinato (default: ordine alfabetico)
factor(x = c("Maria", "Mauro", "Teresa", "Carlo"),
       ordered = TRUE)

[1] Maria Mauro Teresa Carlo
Levels: Carlo < Maria < Mauro < Teresa
```

Hands on: Esercizio 1.8

Tipi (classi) di oggetti: matrix

Una matrice (*matrix*) è una **struttura bidimensionale** (`nrow*ncol`) di elementi **dello stesso tipo**, che può essere creata con la funzione:

```
matrix(data, nrow = , ncol = , byrow = FALSE)
```

```
(x <- matrix(1:12, nrow = 3, ncol = 4))

[,1] [,2] [,3] [,4]
[1,]    1    4    7   10
[2,]    2    5    8   11
[3,]    3    6    9   12

matrix(1:12, nrow = 3, ncol = 4, byrow = TRUE)

[,1] [,2] [,3] [,4]
[1,]    1    2    3    4
[2,]    5    6    7    8
[3,]    9   10   11   12

matrix(c("Mar", "Mau", "Ter", "Car"), nrow = 2)

[,1] [,2]
[1,] "Mar" "Ter"
[2,] "Mau" "Car"
```

Per selezionare uno o più elementi di una matrice, usiamo ancora una volta le **parentesi quadre**, ma questa volta con la sintassi

```
nome_matrice[num_riga, num_colonna]
```

```
x[1,2] # prima riga, seconda colonna
```

```
[1] 4
```

```
x[2,1] # seconda riga, prima colonna
```

```
[1] 2
```

```
x[1:3,2] # righe 1-3, seconda colonna
```

```
[1] 4 5 6
```

```
x[1,] # prima riga, tutte le colonne
```

```
[1] 1 4 7 10
```

```
x[,2] # seconda colonna, tutte le righe
```

```
[1] 4 5 6
```

Tipi (classi) di oggetti: matrix

x

```
[,1] [,2] [,3] [,4]
[1,] 1 4 7 10
[2,] 2 5 8 11
[3,] 3 6 9 12
```

Unire due matrici:

```
cbind(x,matrix(rep(3,6),nrow=3)) # per colonna
```

```
[,1] [,2] [,3] [,4] [,5] [,6]
[1,] 1 4 7 10 3 3
[2,] 2 5 8 11 3 3
[3,] 3 6 9 12 3 3
```

```
rbind(x,matrix(rep(3,4),ncol=4)) # per riga
```

```
[,1] [,2] [,3] [,4]
[1,] 1 4 7 10
[2,] 2 5 8 11
[3,] 3 6 9 12
[4,] 3 3 3 3
```

Nomi e numero di righe e colonne:

```
rownames(x) <- c("a","b","c") # nomi righe
```

```
colnames(x) <- 1:4 # nomi colonne
```

x

```
1 2 3 4
```

```
a 1 4 7 10
```

```
b 2 5 8 11
```

```
c 3 6 9 12
```

```
c(nrow(x),ncol(x)) # numero righe e col. = dim(x)
```

```
[1] 3 4
```

```
t(x) # matrice trasposta (inverte righe e col.)
```

```
a b c
```

```
1 1 2 3
```

```
2 4 5 6
```

```
3 7 8 9
```

```
4 10 11 12
```

Hands on: **Esercizio 1.6**

Strutture di dati: dataframe

Un data frame è una **struttura bidimensionale** di elementi di diverso tipo.

(es. numeric, character e factor), che può essere creata con la funzione:

```
data.frame(nome_variabile1 = c(...), nome_variabile2 = c(...), ...)
```

```
(x <- data.frame(Num = 1:4,  
                  Char = c("a","b","c","d"),  
                  Logi = rep(c(TRUE,FALSE),2)))
```

Num	Char	Logi
1	a	TRUE
2	b	FALSE
3	c	TRUE
4	d	FALSE

```
str(x) # struttura del dataframe  
  
'data.frame': 4 obs. of 3 variables:  
  
 $ Num : int 1 2 3 4  
 $ Char: chr "a" "b" "c" "d"  
 $ Logi: logi TRUE FALSE TRUE FALSE
```

Mentre il comando `str(nome_df)` restituisce la struttura di un dataframe, `summary(nome_df)` stampa un sommario per ogni variabile.

```
summary(x)
```

Num	Char	Logi
Min. : 1.00	Length: 4	Mode : logical
1st Qu.: 1.75	Class : character	FALSE: 2
Median : 2.50	Mode : character	TRUE : 2
Mean : 2.50		
3rd Qu.: 3.25		
Max. : 4.00		

Strutture di dati: dataframe

La **manipolazione di un dataframe** è molto simile a quella già vista per le matrici.

Selezione elementi e unione di due dataframe:

```

x[2, 2:3] # seconda riga, colonne 2 e 3

Char Logi
2 b FALSE

cbind(x,data.frame(new=4:1)) # unione per colonna

Num Char Logi new
1 1 a TRUE 4
2 2 b FALSE 3
3 3 c TRUE 2
4 4 d FALSE 1

rbind(x[1:3,],data.frame(Num=10, # per riga
                           Char="z",Logi=FALSE))

Num Char Logi
1 1 a TRUE
2 2 b FALSE
3 3 c TRUE
4 10 z FALSE

```

Nomi e numero di righe e colonne:

```
rownames(x) # default = 1:nrow(x)  
[1] "1" "2" "3" "4"  
colnames(x)[2] # nome colonna 2  
[1] "Char"  
nrow(x)  
[1] 4  
ncol(x)  
[1] 3
```

Trasporre un dataframe:

```
t(x)
      [,1]   [,2]   [,3]   [,4]
Num  "1"    "2"    "3"    "4"
Char "a"    "b"    "c"    "d"
Logi "TRUE" "FALSE" "TRUE" "FALSE"
```

Strutture di dati: dataframe



Per selezionare una colonna (vettore) di un dataframe, si può usare il simbolo \$, con la sintassi nome_dataframe\$nome_colonna:

```
x$Char # seleziona colonna Char
[1] "a" "b" "c" "d"

x$Char[2] # secondo elemento della colonna Char
[1] "b"

x$Char[2] == x[2,2] # due comandi equivalenti
[1] TRUE

x$Char <- NULL # elimino colonna Char

x[x$Num < 3,] # seleziono casi con Num < 3

  Num  Logi
1   1  TRUE
2   2 FALSE

# stesso risultato con subset(x, Num < 3)
```

Modo alternativo di selezionare le colonne:

```
x[, "Logi"]
[1] TRUE FALSE TRUE FALSE
x[1:2, c("Num", "Logi")]
  Num  Logi
1   1  TRUE
2   2 FALSE
```

“Testa” e “coda” di un dataframe:

```
head(x, n = 2) # prime due righe
  Num  Logi
1   1  TRUE
2   2 FALSE

tail(x, 1) # ultima riga
  Num  Logi
4   4 FALSE
```

Hands on: **Esercizio 1.9**

Strutture di dati: list

Una lista (*list*) è una **raccolta di oggetti** che possono avere **diversa classe** (es. vector, matrice e dataframe) e **diversa lunghezza** (al contrario di matrici e dataframe). Si tratta della struttura più complessa eversatile di R, e si crea con la funzione

```
list(nome_oggetto1 = ..., nome_oggetto2 = ..., ...)
```

```
x <- list(Num = 1:4,  
          Matr = matrix(1:12, nrow=3),  
          df = x,  
          lst = list(1:3,2:3))  
  
str(x) # struttura del dataframe  
  
List of 4  
  
$ Num : int [1:4] 1 2 3 4  
$ Matr: int [1:3, 1:4] 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 ...  
$ df  : 'data.frame': 4 obs. of 2 variables:  
..$ Num : int [1:4] 1 2 3 4  
..$ Logi: logi [1:4] TRUE FALSE TRUE FALSE  
  
$ lst :List of 2  
..$ : int [1:3] 1 2 3  
..$ : int [1:2] 2 3
```

Per **selezionare gli elementi** di una lista, usiamo sempre le **parentesi quadre**

```
x[1] # singole = crea sotto-lista  
$Num  
[1] 1 2 3 4  
class(x[1])  
[1] "list"  
x[[1]] # doppie = estrae l'oggetto  
[1] 1 2 3 4  
class(x[[1]])  
[1] "integer"  
x[[3]][2,1]  
[1] 2
```

Get started

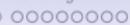
R objects

R workspace

R graphics

Linear models LMER & SEM

Risorse



R workspace

Funzioni e pacchetti

Molte cose in R si fanno usando delle funzioni, composte dai seguenti elementi: **nome**, **parentesi tonde**, **argomenti** (`nomeArgomento = valoreArgomento` oppure senza nome, in base alla posizione di default), valore restituito (*value*)

```
sqrt(x = c(1,2,3))  
[1] 1.000000 1.414214 1.732051  
  
sqrt(c(1,2,3))  
[1] 1.000000 1.414214 1.732051
```

R Help system: Per conoscere i dettagli (argomenti) di qualsiasi funzione, basta inserire il simbolo `?` seguito dal nome della funzione

```
?sqrt
```

R packages: Per ottenere funzioni aggiuntive rispetto a quelle dei pacchetti di base, è necessario installare e aprire il relativo pacchetto (**package**)

```
install.packages("nome_pacchetto") # installare un pacchetto  
  
library(nome_pacchetto) # aprire un pacchetto  
  
nome_pacchetto::nome_funzione() # usare funzione senza aprire il pacchetto
```

Oggetti, funzioni e workspace

Quando assegnamo un valore ad una variabile, questa viene registrata nel **workspace**: il posto che contiene tutti gli oggetti e le funzioni definiti dall'utente (sezione Environment di RStudio).

La funzione **ls()** stampa i nomi di tutti gli oggetti e le funzioni presenti nel workspace, mentre la funzione **rm()** rimuove l'oggetto specificato tra parentesi:

```
x <- 1 # assegno valore a x
y <- 2 # assegno valore a y
ls() # mostra tutti gli oggetti nel workspace
[1] "x" "y"
rm(y) # rimuove l'oggetto y
ls()
[1] "x"
```

Combinando le due funzioni, il comando **rm(list=ls())** svuota il workspace, eliminando tutti gli oggetti e le funzioni (molto utile **all'inizio di ogni script!**)

```
rm(list = ls())
```

Oggetti e funzioni già inclusi in Base R

Alcuni pacchetti di base (oggetti e funzioni) sono **già installati in R**. Questi non richiedono l'apertura di nessun pacchetto e non compaiono nel workspace.

```
rm(list=ls()) # svuoto il workspace

head(sleep,4) # dataset sleep dal pacchetto datasets

extra group ID

1 0.7    1 1
2 -1.6   1 2
3 -0.2   1 3
4 -1.2   1 4

mean(sleep$extra) # funzione mean() dal pacchetto base

[1] 1.54

letters[2] # costanti dal pacchetto base

[1] "b"

ls() # il workspace è vuoto!

character(0)
```

Caricare oggetti dall'esterno: La working directory

Per aprire un file che si trova in una specifica cartella, è necessario prima impostare la **working directory**, ovvero la cartella dalla quale vengono importati i file di input e nella quale vengono esportati i file di output.

```
getwd() # funzione per stampare la WD attuale
[1] "C:/Users/mengh/OneDrive/Desktop/PHD/Didattica/Didattica integrativa 2022 Analisi dei dati"
dir()[1:3] # stampa i primi 3 file nella WD
[1] "appunti Pastore.didattica integrativa.txt"
[2] "Cartelli1.csv"
[3] "Cartelli1.xlsx"

setwd("data") # sottocartella nella WD
setwd("C:/Users/mengh/OneDrive/Desktop") # nuova directory
```

Trucchetto con RStudio: ogni volta che inizi un nuovo progetto (es. analisi tesi, report progetto), crea un nuovo **R project** (.Rproj) dal menu **File > New R Project**, selezionando una directory esistente o creandone una nuova. Così quella sarà già impostata come la WD per tutti i file associati al progetto.

Caricare ed esportare un dataset

Il primo passo di ogni analisi dei dati con R è quello di caricare una struttura di dati (registrati con un certo metodo e salvati con un certo formato) nel workspace.

Per caricare un dataset che si trova nella working directory, è necessario usare una specifica funzione in base al formato del file.

```
# file .RData
load(file = "data/questionarioStudenti.RData") # import
save(qs, file = "data/questionarioStudenti.RData") # export
```

R può importare ed esportare dati salvati con molti formati diversi, alcuni dei quali richiedono l'installazione di pacchetti aggiuntivi.

```
# file .CSV (comma separated values)
qs <- read.csv(file = "data/questionarioStudenti.csv") # import
write.csv(x = qs,"data/questionarioStudenti.csv", row.names = FALSE) # export

# file .SAV (da SPSS)
library(foreign)
qs <- read.spss("data/questionarioStudenti.sav", to.data.frame=TRUE)
```

Caricare ed esportare un dataset

Un modo veloce (ma poco riproducibile!) per caricare un file su R è usare la funzione `file.choose()` al posto del nome del file. Questo consente di caricare un file senza nemmeno dover impostare la WD.

```
qs <- read.csv(file = file.choose())
```

Se hai dubbi su quale funzione usare per leggere un file, puoi usare il menu punta-e-clicca di RStudio: **File > Import Dataset**

Hands on:

- Apri o crea un file `.xlsx` sul tuo PC, salvalo in formato `.csv` (comma separated values) e importalo su R
- Prova ad importare direttamente il file `.xlsx` (se hai dubbi, cerca su Google “*how to read xlsx file with R*”)
- In entrambi i casi, osserva la classe e la struttura dell’oggetto importato

Hands on: Questionario incontri facoltativi

1. Scarica i file `questionarioStudenti.RData` e `questionarioStudenti.csv` da Github:
<https://github.com/Luca-Menghini/eseRcitazioni/tree/main/data> (Premere su `File > Raw > Download` o tasto dx > `Save as`), salva il file in una cartella e imposta quella cartella come working directory.
2. Importa entrambi i file su RStudio e confronta i due oggetti. Di che classe sono? E le variabili di che classe sono?
3. Usa la funzione `describe()` del pacchetto `psych` (forse va prima installato!) per calcolare le statistiche descrittive della variabile `numVar` e usa la funzione `hist()` per visualizzare il grafico di densità ad histogrammi (prova a cambiare il valore dell'argomento `breaks`).
4. Usa la funzione `table()` per produrre la tabella di frequenza della variabile `Q02` (“*Quale giorno preferiresti per gli incontri facoltativi?*”)
5. Ora fai la stessa cosa, ma considerando solo chi ha risposto “Sì” alla domanda `Q01` (“*Parteciperai a tutti gli incontri?*”)
6. Ora incrocia le frequenze delle variabili `Q02` e `Q03` (“*Riusciresti a partecipare anche se fossero nel giorno che NON hai scelto?*”)

Statistiche descrittive (univariate)

```
x <- c(1,1,1,2,8,9) # creo vettore numerico

c(mean(x),median(x)) # media & mediana
[1] 3.6666667 1.500000

as.numeric(which.max(table(x))) # moda
[1] 1

c(var(x),sd(x)) # varianza & dev. standard
[1] 14.266667 3.777124

quantile(x,probs=0.90) # 90° percentile
90%
8.5

quantile(x,probs=c(0.25,0.50,0.75,1)) # quartili
25% 50% 75% 100%
1.0 1.5 6.5 9.0

round(rank(x)/length(x),2) # ranghi percentili
[1] 0.33 0.33 0.33 0.67 0.83 1.00
```

```
table(x) # frequenze assolute
x
1 2 8 9
3 1 1 1

round(table(x)/length(x),2) # freq relative
x
1 2 8 9
0.50 0.17 0.17 0.17

cumsum(x) # somma cumulata
[1] 1 2 3 5 13 22

cumsum(table(x)) # freq cumulate assolute
1 2 8 9
3 4 5 6

round(cumsum(table(x))/ # freq cumulate relative
      length(x)),2)
1 2 8 9
0.50 0.67 0.83 1.00
```

Statistiche descrittive (bivariate)

```
y <- -x - 1 # valori inversamente prop. a x
z <- round(rnorm(n=length(x)),1) # valori a caso
(df <- data.frame(x,y,z)) # nuovo dataframe

  x     y     z
1 1  -2 -0.3
2 1  -2  0.8
3 1  -2  0.5
4 2  -3 -1.0
5 8  -9  0.1
6 9 -10  1.0
```

Correlazione e covarianza

```
cov(x,y) # covarianza tra x e y
[1] -14.26667
cor(x,y) # correlazione
[1] -1
```

Quando ho più di due variabili:

```
cov(df) # matrice di covarianza

          x         y         z
x  14.2666667 -14.2666667  0.9533333
y -14.2666667  14.2666667 -0.9533333
z   0.9533333 -0.9533333  0.5576667
```

cor(df) # matrice di correlazione

```
          x         y         z
x  1.000000 -1.000000  0.337984
y -1.000000  1.000000 -0.337984
z   0.337984 -0.337984  1.000000
```

Esercizi

- **Esercizio 1.10***
- **Esercizi 1.11-1.13***
- **Esercizio 1.26****

*I dataset sono inclusi nella cartella **dati.esercizi.zip** su Moodle

(ADcom2122 > Materiale didattico > MateRiale eseRcizi), ma si possono scaricare anche da github.com/Luca-Menghini/eseRcitazioni/tree/main/data

**Per scaricare il pacchetto ADati del prof. Pastore, esegui i seguenti comandi collegandoti ad una rete wifi:

```
install.packages("devtools") # installo pacchetto devtools
library(devtools) # apro pacchetto devtools
install_github("https://github.com/masspastore/ADati") # installo ADati da github
library(ADati) # apro pacchetto ADati
```

Get started

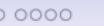
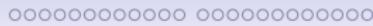
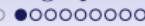
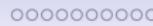
R objects

R workspace

R graphics

Linear models LMER & SEM

Risorse



R graphics

Graphics in R: Principali funzioni

Funzioni di alto livello
(stanno in piedi da sole)

```
# funzione base (dipende dalla classe dell'oggetto)
plot() # scatter plot (grafico a dispersione)

# distribuzione
boxplot() # boxplot (diagramma a scatola e a baffi)
qqnorm() # quantile-quantile plot

# frequenze
barplot() # grafico a barre (variabili categoriali)
hist() # istogramma (variabili continue)
pie() # pie chart

# interazioni
interaction.plot()
```

Funzioni di basso livello
(aggiungono elementi alle prime)

```
points() # aggiunge punti
lines() # aggiunge linee
text() # aggiunge del testo

# retta di regressione lineare
abline(a = ..., b = ...)

# elementi più complessi
rect() # aggiunge rettangoli
polygon() # aggiunge poligoni

# altre caratteristiche del grafico
axis() # per modificare gli assi
legend() # per aggiungere una legenda
```

Parametri grafici

Esegui il comando `?par` per vedere tutti i parametri grafici modificabili.

Alcuni possono essere impostati usando gli argomenti delle funzioni grafiche:

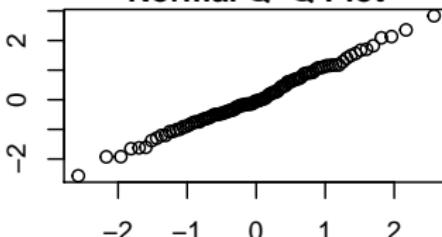
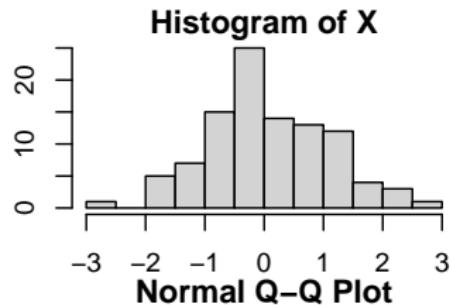
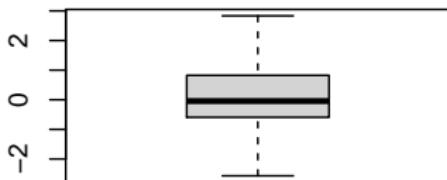
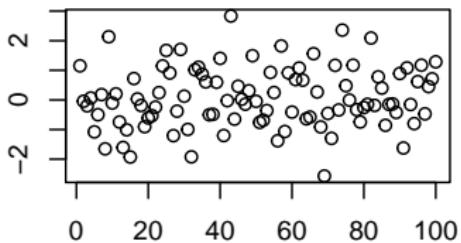
```
# dimensioni  
  
cex = 2 # grandezza testo e simboli (moltiplicatore)  
  
lwd = 0.5 # spessore linee  
  
  
# colore e forma  
  
col = "red" # (vedi ?colors)  
  
lty = 2 # tipo di linee (1=solid, 2=dashed, ...)  
  
pch = 19 # forma dei punti (vedi ?points)  
  
  
# titoli  
  
main = "Titolo del grafico"  
  
xlab = "Titolo asse x"
```

Altri devono essere impostati all'interno della funzione `par()`, che va eseguita prima di generare il grafico:

```
# margini (bottom, left, top, right)  
  
mai # dimensione margini (in inch)  
  
mar # dimensione margini (in linee di testo)  
  
  
# struttura griglie di grafici  
  
mfrow=c(nrow, ncol)  
  
# es. due grafici uno di fianco all'altro  
  
mfrow=c(2,1)  
  
# es. due grafici uno sotto l'altro  
  
mfrow=c(1,2)
```

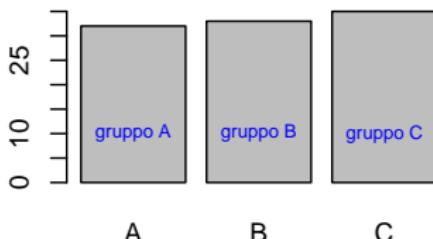
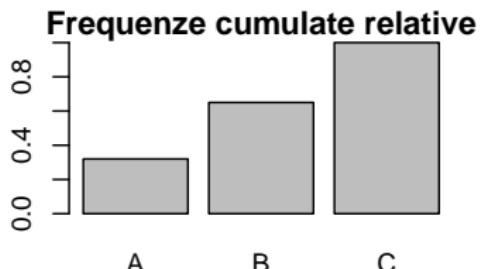
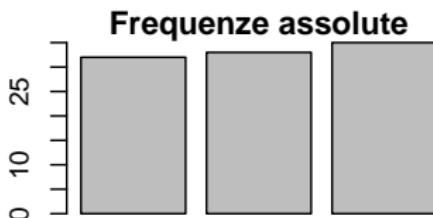
Distribuzioni univariate: variabili continue

```
X <- rnorm(n=100, mean=0, sd=1) # genero valori casuali dalla distribuzione normale standard  
par(mfrow = c(2,2), mai = c(0.3,0.5,0.2,0.5)) # voglio 4 grafici in una sola finestra  
plot(X) # scatter plot: grafico a dispersione (variabilità)  
hist(X) # istogramma: distribuzione di frequenze per classi  
boxplot(X) # box plot: diagramma a scatola (1° e 3° quartile) e a baffi (+/- 1.5 IQR)  
qqnorm(X) # Q-Q plot: distribuzione cumulata di X vs. distribuzione cumulata normale
```



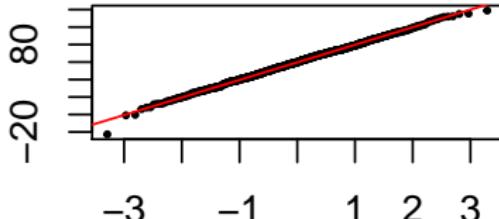
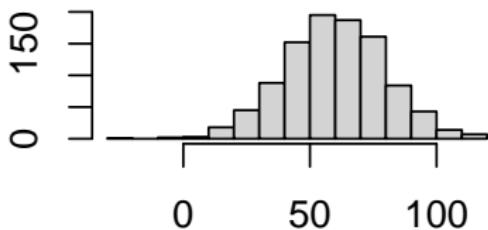
Distribuzioni univariate: variabili categoriali

```
Y <- factor(sample(x=c("A","B","C"),size=100,replace=TRUE)) # frequenze casuali per A, B e C  
  
par(mfrow = c(2,2), mai = c(0.3,0.5,0.2,0.5)) # voglio 4 grafici in una sola finestra  
  
barplot(table(Y), main="Frequenze assolute") # grafico a barre: mostra le frequenze assolute  
  
barplot(round(cumsum(table(Y)/length(Y)),2), main="Frequenze cumulate relative")  
  
barplot(table(Y)) # stesso grafico ma aggiungo del testo in blu  
  
text(x=c(0.7,1.9,3.1),y=10,labels=c("gruppo A","gruppo B","gruppo C"),col="blue",cex=0.7)
```

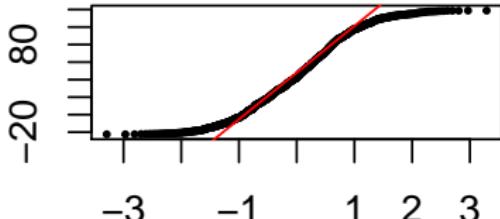
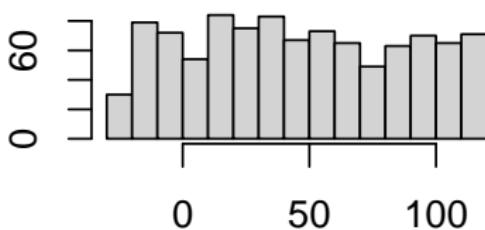


Valutare la normalità di una distribuzione

```
X <- rnorm(n = 1000, mean = 60, sd = 20) # norm
par(mfrow=c(2,1),mai=rep(0.3,4),mar=rep(1.8,4))
hist(X,main="",xlab="",ylab "") # istogramma
qqnorm(X,cex=0.5,main="",pch=20) # Q-Q plot
qqline(X,col="red") # aggiungo linea distr. norm.
```

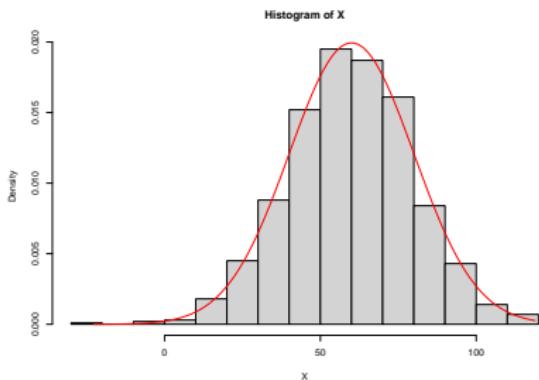


```
Y <- runif(n=1000,min=min(X),max=max(X)) # unif
par(mfrow=c(2,1),mai=rep(0.3,4),mar=rep(1.8,4))
hist(Y,main="",xlab="",ylab "") # istogramma
qqnorm(Y,cex=0.5,main="",pch=20) # Q-Q plot
qqline(Y,col="red") # aggiungo linea distr. norm.
```



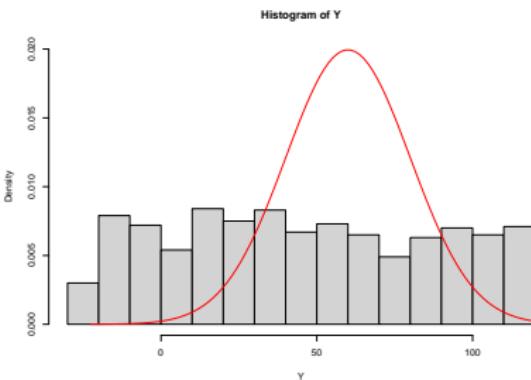
Valutare la normalità di una distribuzione

```
# Distribuzione empirica  
  
hist(X, freq = FALSE)  
  
# Distribuzione teorica (attesa)  
  
curve(dnorm(x, mean = 60, sd = 20),  
       from = min(X), to = max(X),  
       col = "red", lwd = 2,  
       add = TRUE)
```



```
# Distribuzione empirica
hist(Y, freq = FALSE, ylim = c(0,0.02))

# Distribuzione teorica (attesa)
curve(dnorm(x, mean = 60, sd = 20),
       from = min(Y), to = max(Y),
       col = "red", lwd = 2,
       add = TRUE)
```



Valutare la normalità di una distribuzione

```
library(moments) # asimmetria e curtosi  
  
c(skewness(X), kurtosis(X)) # (buono se ~ 0)  
[1] -0.07717906 3.10774824  
  
# test Kolmogorov-Smirnov (H0: X è normale)  
ks.test(X, y="pnorm", mean=mean(X), sd=sd(X))
```

One-sample Kolmogorov-Smirnov test

```
data: X  
D = 0.01686, p-value = 0.9387  
alternative hypothesis: two-sided  
  
# test Shapiro-Wilk (H0: X è normale)  
shapiro.test(X)
```

Shapiro-Wilk normality test

```
data: X  
W = 0.99872, p-value = 0.702
```

```
# asimmetria e curtosi  
  
c(skewness(Y), kurtosis(Y)) # (buono se ~ 0)  
[1] 0.08214767 1.81097136  
  
# test Kolmogorov-Smirnov (H0: Y è normale)  
ks.test(Y, y="pnorm", mean=mean(Y), sd=sd(Y))
```

One-sample Kolmogorov-Smirnov test

```
data: Y  
D = 0.072069, p-value = 6.16e-05  
alternative hypothesis: two-sided  
  
# test Shapiro-Wilk (H0: Y è normale)  
shapiro.test(Y)
```

Shapiro-Wilk normality test

```
data: Y  
W = 0.95211, p-value < 2.2e-16
```

Distribuzioni bivariate: variabili continue

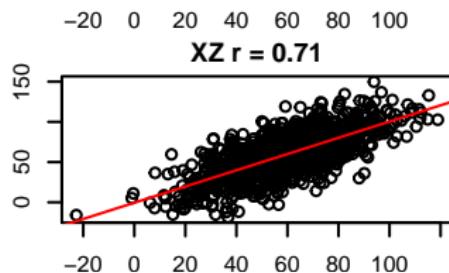
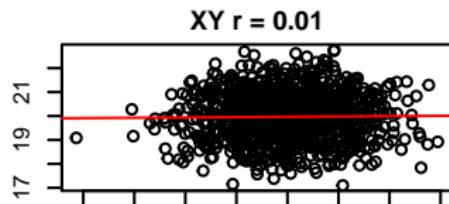
```

Y <- rnorm(1000, mean=20, sd=1) # Y (indipendente da X)
Z <- X + rnorm(1000, sd = 20) # Z (proporzionale a X)

# Scatter plot

par(mfrow=c(2,1),mai=rep(0.3,4),mar=rep(1.8,4),cex=.5)
plot(X, Y, main = paste("XY r =",round(cor(X, Y),2)))
abline(lm(Y~X),col="red") # retta di regr. lineare
plot(X, Z, main = paste("XZ r =",round(cor(X, Z),2)))
abline(lm(Z~X),col="red") # tilde (~) con Alt + 1-2-6

```



```

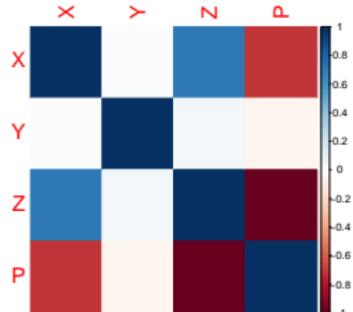
df <- data.frame(X, Y, Z, P = -Z)

# Correlation plot

library(corrplot)

corrplot(cor(df),method="color",
        tl.cex=2,cl.cex=1,
        mar = c(0,0,0,15))

```



Distribuzioni bivariate: variabili categoriali

```
# creo data.frame con sesso (M/F) e livello di educazione (primaria, medie, superiori, università)
df <- data.frame(sex = sample(x = rep(c("F","M"),50), size = 100),
                  edu = sample(x = rep(c("prim","med","sup","uni"),25), size = 100))
```

```
table(df) # frequenze incrociate
```

edu

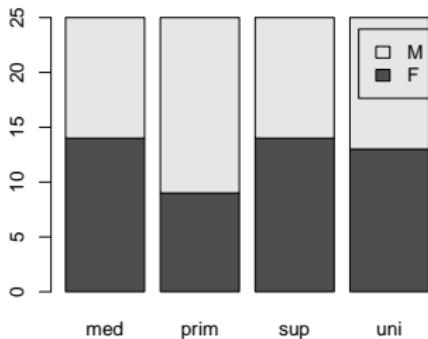
sex med prim sup uni

F 14 9 14 13

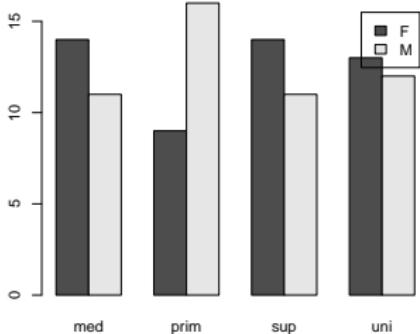
M 11 16 11 12

```
par(mai=rep(0.4,4))
```

```
barplot(table(df), legend.text = TRUE) # bar plot
```



```
# versione con 'gruppi affiancati'  
par(mai=rep(0.4,4))  
barplot(table(df),legend.text = TRUE,  
       beside = TRUE)
```



Distribuzioni bivariate: continue & categoriali

```

par(mfrow = c(2,2), mai = c(0.5,1,0.2,0.5)) # nota: uso il dataset sleep (già incluso in R base)
barplot(tapply(sleep$extra, sleep$group, FUN=mean), # grafico a barre x le medie (SCONSIGLIATO!)
        main="SCONSIGLIATO!",cex.main=1.5, ylab = "extra"); abline(a=0,b=1,col="red",lwd=2)

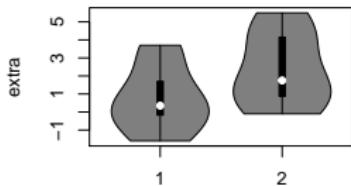
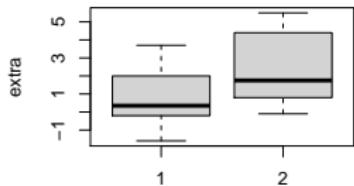
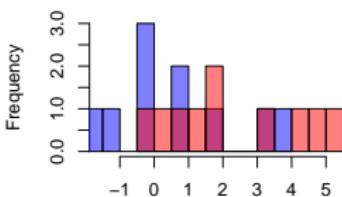
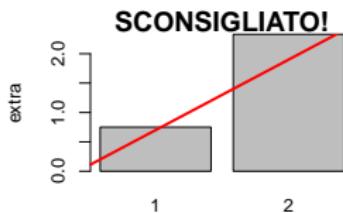
hist(sleep[sleep$group==1,"extra"], breaks=10, col = rgb(0,0,1,alpha=0.5),
      xlim = c(min(sleep$extra), max(sleep$extra)), xlab="", main="") # istogramma per gruppo

hist(sleep[sleep$group==2,"extra"], breaks=10, col = rgb(1,0,0,alpha=0.5), add = TRUE)

boxplot(extra ~ group, data = sleep) # box plot per gruppo

library(vioplot); vioplot(extra ~ group, data = sleep) # grafico a violino: densità per gruppo

```



Salvare un grafico

```
# 1. apro nuovo file con formato PNG
png(filename = "graFico.png", # titolo del grafico
     width = 350, height = 350) # larghezza e altezza

# 2. creo il grafico
plot(sleep$group, sleep$extra,
      xlab = "group", ylab = "extra", col = "#2E9FDF")

# 3. chiudo il file
dev.off()

pdf
  2
```

Formati alternativi (vedi ?png)

```
png() # Portable Network Graphics
```

```
bpm() # bitmap
```

```
jpeg() # Joint Photographic Experts Group
```

```
tiff() # Tagged Image File Format
```

Esercizi

Introduzione a R:

- 1.22 (distribuzioni di probabilità)
- 1.26 (dataset, descrittive e grafici)*

Teoria dei campioni

- 2.2 (popolazione e distr. campionarie)
- 2.8 (variabili casuali e distr. campionarie)
- 2.14 (dataset, campioni e probabilità)**

Inferenza statistica

- 3.4 (dataset, grafici e test statistici)**
- 3.11 (grafici, test e potenza statistica)

*Per scaricare il pacchetto ADati del prof. Pastore:

```
install.packages("devtools")
library(devtools)
install_github("https://github.com/masspastore/ADati")
library(ADati)
```

*Per caricare un dataset dal pacchetto ADati:

```
data(gambling, # nome del dataset
      package = "ADati")
```

**I dataset sono inclusi nella cartella

dati.esercizi.zip su Moodle (ADcom2122 > Materiale didattico > MateRiale eseRcizi), ma si possono scaricare anche da github.com/Luca-Menghini/eseRcitazioni/tree/main/data

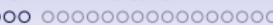
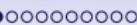
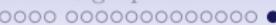
Get started

R objects

R workspace R graphics

Linear models LMER & SEM

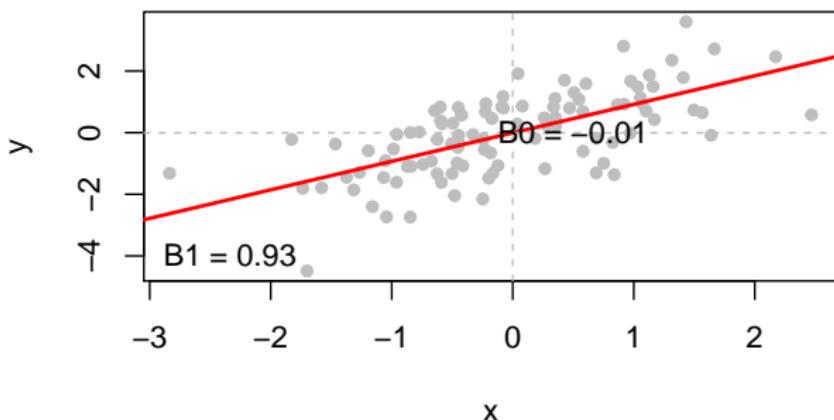
Risorse



Linear models

Regressione lineare

- La **regressione** mira a stabilire se tra due variabili vi sia una relazione funzionale asimmetrica, in particolare a quantificare la misura in cui una variabile (chiamata **predittore**) agisca su un'altra (chiamata **dipendente** o **risposta**).
- La **regressione lineare** consiste nel determinare il legame tra due variabili attraverso una funzione lineare del tipo $Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_i + \epsilon_i$
- Tale funzione può essere rappresentata graficamente con una **retta** in cui β_0 rappresenta l'**intercetta** (valore assunto da Y quando X = 0) e β_1 il **coefficiente angolare**.



Specificare un modello di regressione lineare

Uso il dataset **gambling** dal pacchetto **ADati**. Voglio specificare dei modelli che predicono **frequency** (frequenza di gioco) sulla base di **gender** (genere) e **risk** (percezione del rischio).

```
data(gambling, package = "ADati")
```

In R, i modelli di regressione lineare si specificano con la funzione **lm()**, impostando gli argomenti **formula** (sintassi: **dipendente ~ predittore1 + predittore2 + ...**, dove il simbolo “**~**” è la **tilde**, che su windows si fa con Alt + 126 del tastierino numerico) e **data** (il dataframe che include le variabili scritte nella formula)

- **Modello nullo:** il punteggio di **frequency** è predetto **soltanto dall'intercetta** b_0 , ovvero dal valore medio di **frequency** nel campione.

```
m0 <- lm(formula = frequency ~ 1, data = gambling)
```

```
coefficients(m0) # coefficiente stimato dal modello (intercetta)
```

```
(Intercept)
```

```
10.55997
```

```
mean(gambling$frequency) # media della variabile frequency
```

```
[1] 10.55997
```

Specificare un modello di regressione lineare

- **Modello di regressione lineare semplice:** il punteggio di **frequency** è predetto dall'intercetta b_0 (il valore atteso di **frequency** quando **gender** è uguale a "f") e dal coefficiente b_1 , che esprime la differenza 'media' $m - f$.

```
m1 <- lm(formula = frequency ~ gender, data = gambling)
```

```
coefficients(m1)

(Intercept)      genderm
9.336685     3.042012

tapply(gambling$frequency, gambling$gender, mean) # media di frequency per f e m

f            m
9.336685 12.378697
```

Specificare un modello di regressione lineare

- **Modello di regressione lineare multipla:** il punteggio di `frequency` è predetto dall'intercetta b_0 (il valore atteso di `frequency` quando `gender = f` e `risk = 0`) e dai coefficienti b_1 (differenza ‘media’ di genere stimata quando `risk = 0`) e b_2 (effetto di `risk` al netto delle differenze di genere)

```
m2 <- lm(formula = frequency ~ risk + gender, data = gambling)
```

```
coefficients(m2)

(Intercept)      risk      genderm
18.951650    -1.393899    2.008555
```

- **Modello interattivo:** il punteggio di `frequency` è predetto dall'intercetta b_0 e dai coefficienti b_1 (differenza ‘media’ di genere stimata quando `risk = 0`) e b_2 (effetto di `risk` quando `gender = "f"`) e b_3 (effetto di `risk` quando `gender = "m"`)

```
m3 <- lm(formula = frequency ~ risk * gender, data = gambling)
```

```
coefficients(m3)

(Intercept)      risk      genderm risk:genderm
16.9206907   -1.0994674    5.9744077   -0.6087177
```

Valutare gli assunti del modello lineare

- 1. Indipendenza delle osservazioni:** tutte le coppie di errori ϵ_i e ϵ_j sono indipendenti per ogni $i \neq j$. Questa non richiede particolari procedure, basta riflettere: le osservazioni nel mio dataset sono tra loro indipendenti?
- 2. Indipendenza dei predittori dall'errore:** i **residui** (componente d'errore ϵ_i) del modello non sono associati ai valori dei predittori **gender** e **risk**.

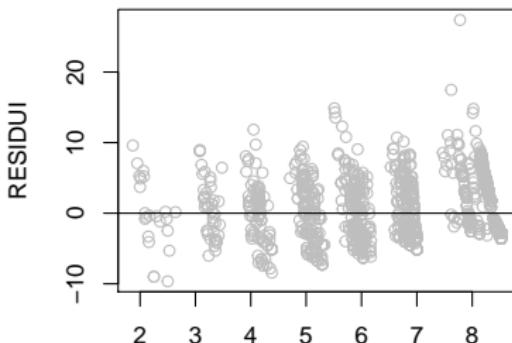
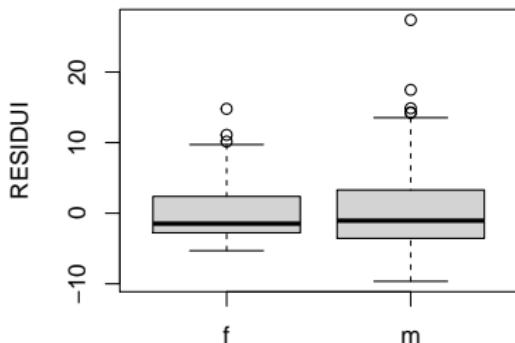
Ma cosa sono i residui?

```
gambling$RESIDUI <- residuals(m3) # residui del modello con funzione residuals()  
gambling$ATTESI <- fitted(m3) # valori di predetti dal modello con funzione fitted()  
head(gambling[,c("frequency", "ATTESI", "RESIDUI")], 5) # RESIDUI = OSSERVATI - ATTESI  
  
frequency     ATTESI     RESIDUI  
6      4.78  7.553228 -2.7732283  
8      36.98 9.605418 27.3745820  
10     4.78  7.553228 -2.7732283  
18     11.16 11.335396 -0.1753962  
19     5.62  7.828095 -2.2080952
```

Valutare gli assunti del modello lineare

- 2. Indipendenza dei predittori dall'errore:** i **residui** (componente d'errore ϵ_i) del modello non sono associati ai valori dei predittori `gender` X_{1i} e `risk` X_{2i} . In questo caso, non sembrano esserci differenze di genere, né una relazione sostanziale con `risk`.
- 3. Varianza costante (omogeneità delle varianze):** la varianza dei residui (gli errori ϵ) è costante per qualunque valore di X . Qui vediamo che la varianza dei residui è leggermente (ma non esageratamente) maggiore nel gruppo dei maschi.

```
par(mfrow=c(1,2),mar=c(5,4,0,2)+0.1)
plot(RESIDUI ~ gender, data=gambling)
plot(RESIDUI ~ risk, data=gambling, col="gray")
abline(lm(RESIDUI ~ risk, data=gambling))
```



Valutare gli assunti del modello lineare

4. Linearità: il valore atteso dell'errore ϵ per un dato valore di X è zero.

In pratica, i residui devono avere media zero (come in questo caso).

5. Normalità: i residui (gli errori ϵ) sono distribuiti normalmente.

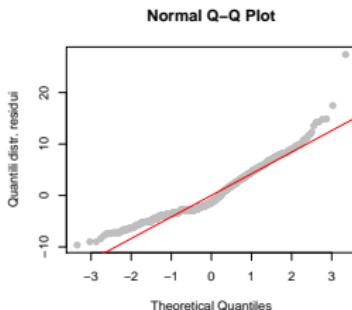
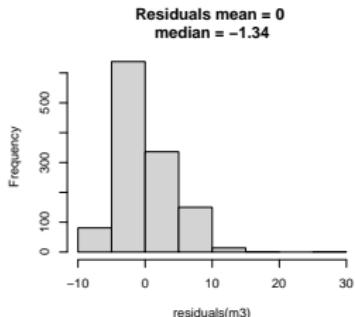
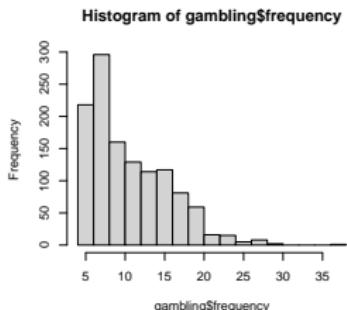
In questo caso non è un bellissimo fit, ma possiamo accettarlo...

```
par(mfrow=c(1,3))

hist(gambling$frequency) # se i residui non sono normali neanche la Y lo è

hist(residuals(m3),main=paste("Residuals mean =",round(mean(residuals(m3)),2),
                                "\nmedian =",round(median(residuals(m3)),2)))

qqnorm(residuals(m3), col="gray", pch=19, ylab = "Quantili distr. residui")
qqline(residuals(m3), col="red")
```



Confrontare diversi modelli

Likelihood ratio test: test del rapporto di verosomiglianza (probabilità dei dati osservati in funzione dei parametri stimati)

```
library(lmtest)  
  
lrtest(m0,m1,m2,m3)  
  
Likelihood ratio test  
  
Model 1: frequency ~ 1  
Model 2: frequency ~ gender  
Model 3: frequency ~ risk + gender  
Model 4: frequency ~ risk * gender  
  
#Df LogLik Df Chisq Pr(>Chisq)  
  
1 2 -3687.3  
2 3 -3629.4 1 115.843 < 2.2e-16 ***  
3 4 -3480.6 1 297.484 < 2.2e-16 ***  
4 5 -3472.6 1 16.149 5.853e-05 ***  
  
---  
  
Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
```

Criteri di informazione: penalizzano i modelli in base a specifici criteri (es. bassa verosomiglianza e parsimonia)

```
# Akaike information criterion (AIC)  
AIC(m0,m1,m2,m3)$AIC # + basso meglio è  
[1] 7378.599 7264.756 6969.272 6955.122
```

```
# Akaike weights: da 0 (-) a 1 (+)  
library(MuMIn)  
Weights(AIC(m0,m1,m2,m3)) # Aw  
model weights  
[1] 0.000 0.000 0.001 0.999
```

Inferenza sui coefficienti di regressione

Seguendo l'approccio NHST, è possibile effettuare un test per valutare la significatività statistica dei coefficienti di regressione. In R, i test vengono effettuati in automatico quando si specifica il modello.

```
summary(m3)$coefficients # comando summary() mostra un sommario del modello
Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept) 16.9206907 0.7416563 22.814733 3.337032e-96
risk -1.0994674 0.1051711 -10.454087 1.484438e-24
genderm 5.9744077 1.0163116 5.878519 5.339754e-09
risk:genderm -0.6087177 0.1512209 -4.025355 6.040343e-05
```

Coefficiente di determinazione R^2 :

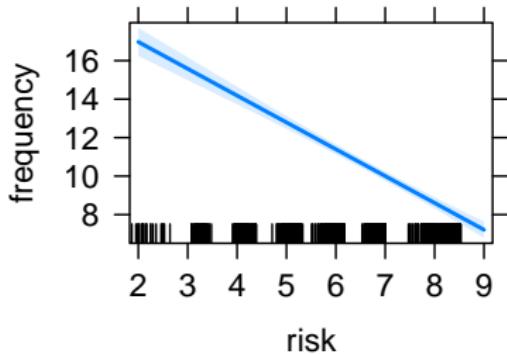
```
# il modello spiega complessivamente il 29% della varianza in frequency
summary(m3)$r.squared
[1] 0.2965382
```

Inferenza sui coefficienti di regressione

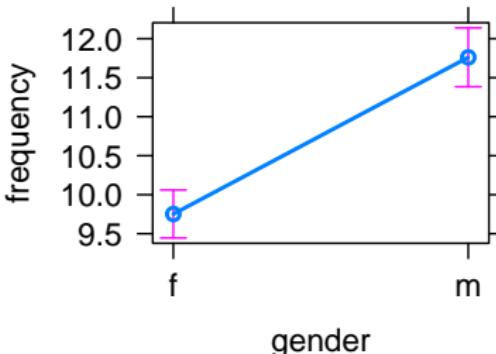
Per visualizzare gli effetti stimati, puoi usare il pacchetto **effects**

```
library(effects)  
plot(allEffects(m2))
```

risk effect plot



gender effect plot



Esercizi

Regressione lineare semplice

- 4.1 (v.casuali, grafici, correlazioni e test)
- 4.6 (dataset, grafici e coefficienti)**
- 4.14 (grafici, modelli e assunti)*

Regressione lineare multipla

- 5.1 (grafici, modelli, assunti ed effetti)*
- 5.4 (grafici, modelli e interazioni)**

*Per scaricare il pacchetto **ADati** del prof. Pastore:

```
install.packages("devtools")
library(devtools)
install_github("https://github.com/masspastore/ADati")
library(ADati)
```

*Per caricare un dataset dal pacchetto **ADati**:

```
data(gambling, # nome del dataset
      package = "ADati")
```

**I dataset sono inclusi nella cartella

`dati.esercizi.zip` su Moodle (`ADcom2122 > Materiale didattico > MateRiale eseRcizi`), ma si possono scaricare anche da github.com/Luca-Menghini/eseRcitazioni/tree/main/data

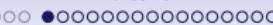
Get started

R objects

R workspace R graphics

Linear models LMER & SEM

Risorse



LMER & SEM

Regressione lineare multilivello

- La **regressione lineare** consiste nel determinare il legame tra due variabili attraverso una funzione lineare del tipo $Y_{ji} = \beta_0 + \beta_1 X_i + \epsilon_i$ dove β_0 è l'**intercetta** e β_1 è la **pendenza**
- Un assunto della regressione lineare è l'**indipendenza delle osservazioni**, una condizione che non viene sempre incontrata, ad esempio con **misure ripetute** (diversi trial per soggetto)
- La **regressione lineare multilivello** permette di analizzare questi casi assumendo che l'intercetta e la pendenza **varino casualmente** da un soggetto all'altro: $Y_{ij} = \beta_0 + \beta_1 X_{ij} + \epsilon_{ij} = (\beta_0 + \lambda_{0j}) + (\beta_1 + \lambda_{1j}) X_{ij} + \epsilon_{ij}$
- In altre parole, gli effetti stimati dal modello vengono decomposti in una componente “fissa”, che rappresenta l'intercetta e la pendenza ‘medie’ del campione (**effetti fissi**), e una componente casuale, che rappresenta la variabilità tra individui j nei due parametri (**effetti random**). Per questo motivo, i modelli multilivello vengono chiamati **modelli lineari ad effetti misti** (fissi + random)

Dataset wide & dataset long

I dataset usati dai modelli lineari multilivello hanno una **struttura gerarchica**, con le osservazioni al livello più basso (**livello 1**, es. tempi di reazione trial per trial, studenti all'interno di una classe) **nidificate (nested)** nelle variabili di livello più alto (**livello 2**, es. soggetti, classi scolastiche). Questi possono essere organizzati in due formati:

- **foma estesa (wide form)**: classica struttura con una riga per partecipante (**subj**)

	subj	age	RT_trial1	RT_trial2	RT_trialN	meanRT
1	s1	23	386	389	...	370.5
2	s2	24	345	338	...	321.2
3	s3	22	394	410	...	397.1

- **foma lunga (long form)**: una riga per trial (**trialN**), con più righe per soggetto

	subj	age	trial	condition	RT
1	s1	23	1	A	386
2	s1	23	2	A	389
3	s1	23
4	s2	24	1	A	345

Livello 1 e livello 2

$$Y_{ij} = \beta_0 + \beta_1 X_{ij} + \epsilon_{ij} \text{ (livello 2: between)}$$

$$= (\beta_0 + \lambda_{0j}) + (\beta_1 + \lambda_{1j}) X_{ij} + \epsilon_{ij} \text{ (livello 1: within)}$$

Nei modelli multilivello, la varianza della v. dipendente è scomposta in due componenti:

- Varianza tra individui j (*between*) che quantifica le differenze individuali tra i **valori medi** della v. dipendente (es. `meanRT`), permettendo di predirle in base ad altre variabili individuali (es. `age`)
- Varianza entro individui (*within*) che quantifica la deviazione di ogni punteggio osservato i in un dato individuo j (es. `RT` soggetto `s1` al primo trial) dal punteggio medio dello stesso individuo (`RTdev = RT - meanRT`), permettendo di predirli in base ad altre variabili intra-individuali (es. `condition`)

	subj	age	trial	condition	RT	meanRT	RTdev
1	s1	23	1	A	386	370.5	15.5
2	s1	23	2	A	389	370.5	18.5
3	s1	23	370.5	...	
4	s2	24	1	A	345	321.2	23.8

Regressione multilivello in R: Esercizio 6.10

Il data set **sherifdat13** nel pacchetto **multilevel** contiene i dati relativi a 24 soggetti [...] suddivisi in 8 gruppi (variabile **group**). I soggetti dei gruppi 1-4 hanno prima effettuato una **stima individuale** e poi hanno fornito una stima basata sulla valutazione di gruppo, i soggetti dei gruppi 5-8 hanno fornito solo una **valutazione come gruppo**.

- **condition** = 1 per i soggetti dei primi quattro gruppi; 0 per quelli dei secondi quattro.
- **person** = id. soggetti entro i gruppi (non univoco)
- **time** = ripetizioni dell'esperimento
- **y** = stima fornita del movimento (in pollici)

L'obiettivo dello studio è di valutare se la stima del movimento sia predetta dal **tipo di compito** eseguito (se in gruppo o meno) e se vari nelle **ripetizioni** del compito.

1. Si acceda al data set **sherifdat** e si controlli la sua struttura.

```
# install.packages("multilevel")
data(sherifdat, package = "multilevel")
str(sherifdat, give.attr = FALSE)
'data.frame': 72 obs. of 5 variables:
 $ person   : int 1 2 3 1 2 3 1 2 3 1 ...
 $ time     : int 0 0 0 1 1 1 2 2 2 0 ...
 $ group    : int 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 ...
 $ y         : num 4 2.7 2 3.8 2.6 2.1 2 2.4 2.3 1 ...
 $ condition: num 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 ...
```

2. Si individui la scala di misura delle variabili contenute nel data set. E' coerente con il significato empirico delle stesse?

Regressione multilivello in R: Esercizio 6.10

3. Si producono le statistiche descrittive univariate delle variabili del data set.

```

sherifdat[,c("time","group","condition")] <-
lapply(sherifdat[,c("time","group","condition")],
       as.factor) # cambio classe alle v. categ.

round(mean(sherifdat$y),2) # media y
[1] 2.87

round(sd(sherifdat$y),2) # SD y
[1] 1.22

# tabella di frequenza per time e condition
table(sherifdat[,c("time","condition")])

      condition

time  0  1

 0 12 12
 1 12 12
 2 12 12

```

4. Si rappresenti graficamente la distribuzione univariata delle stime

5. Si visualizzi la distribuzione delle stime in funzione di `time`, `group` e `condition`. Cosa emerge dall'ispezione dei grafici?

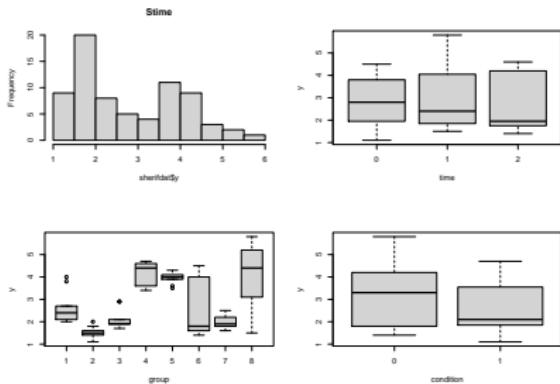
```
par(mfrow=c(2,2))

hist(sherifdat$y, main="Stime") # dist. univ.

boxplot(y ~ time, data=sherifdat) # bivariate.

boxplot(y ~ group, data=sherifdat)

boxplot(y ~ condition, data=sherifdat)
```



Regressione multilivello in R: Esercizio 6.10

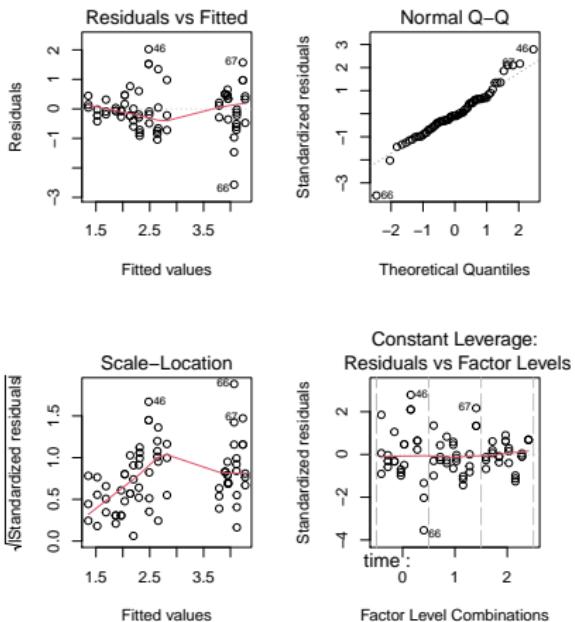
6. Si valuti, con un **modello di regressione lineare**, se **time**, **group** e **condition** siano predittive delle **y**. Quali considerazioni si possono fare osservando l'output del modello con il comando **summary()**?

```
m <- lm(y ~ time + group + condition, data=sherifdat)  
round(summary(m)$coefficients, 2)
```

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	2.66	0.29	9.13	0.00
time1	0.16	0.23	0.72	0.47
time2	-0.17	0.23	-0.74	0.46
group2	-1.13	0.37	-3.08	0.00
group3	-0.52	0.37	-1.42	0.16
group4	1.46	0.37	3.96	0.00
group5	1.30	0.37	3.53	0.00
group6	-0.18	0.37	-0.48	0.63
group7	-0.62	0.37	-1.69	0.10
group8	1.41	0.37	3.83	0.00

7. Si valutino graficamente gli assunti del modello prodotto al punto precedente.

```
par(mfrow=c(2,2)); plot(m)
```



Regressione multilivello in R: Esercizio 6.10

8. Si modifichi opportunamente il modello del punto 6 utilizzando degli **effetti random** che tengano conto del disegno sperimentale e dei dati. Si interpretino i parametri ottenuti.

```
# install.packages("lme4")
library(lme4) # -> funzione lmer()
# intercetta random: (1/group)
m <- lmer(y ~ time + condition + (1|group),
           data = sherifdat)
# intercetta & pendenza random: (condition/group)
m2 <- lmer(y ~ time + condition + (condition|group))
```

```
data = sheriffdat)  
round(summary(m2)$coefficients, 2)
```

	Estimate	Std. Error	t value
(Intercept)	3.13	0.53	5.90
time1	0.16	0.23	0.72
time2	-0.17	0.23	-0.74
condition1	-0.53	0.76	-0.70

9. Si valutino graficamente gli assunti.

```
library(performance); ?check_model
```

```

par(mfrow=c(2,2))

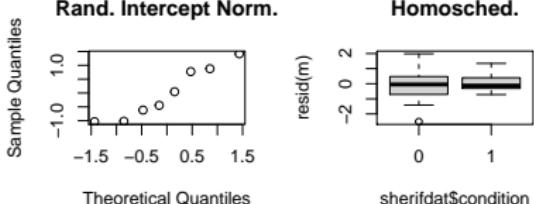
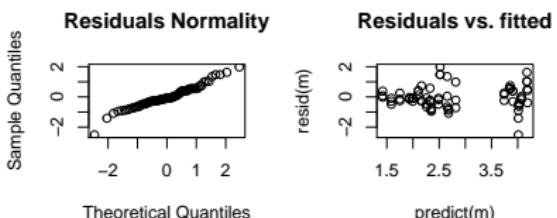
qqnorm(resid(m),main="Residuals Normality")

plot(resid(m)-predict(m),main="Residuals vs. fitted")

qqnorm(ranef(m)$group[,1],main="Rand. Intercept Norm.")

boxplot(resid(m)-sherifdat$condition,main="Homosched .")

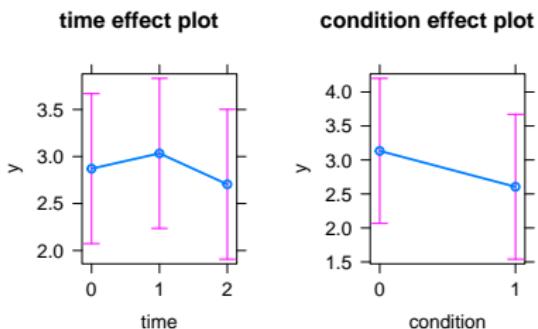
```



Regressione multilivello in R: Esercizio 6.10

9. Si rappresentino gli effetti (fissi) del modello e si commentino.

```
library(effects)  
plot(allEffects(m))
```



Extra: confronto tra modelli

```
anova(m1,m2) # likelihood ratio test  
AIC(m1,m2) # Akaike information crit.  
BIC(m1,m2) # Bayesian informat. crit.
```

$$Y_{ij} = \beta_0 + \beta_1 X_{ij} + \epsilon_{ij}$$

$$= (\beta_0 + \lambda_{0j}) + \beta_1 X_{ij} + \epsilon_{ij}$$

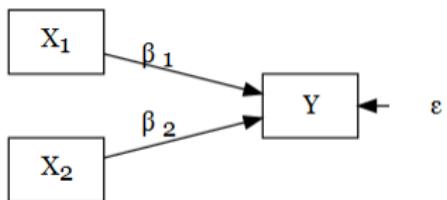
```
# effetti fissi  
  
fixef(m)[1] # intercetta (b0)  
  
(Intercept)  
  
3.134722  
  
fixef(m)[2:length(fixef(m))] # pendenze (b1)  
  
time1      time2 condition1  
  
0.1625000 -0.1666667 -0.5277778
```

```
# effetti random  
  
head(ranef(m)$group[,1],3) # BLUPS  
  
[1] 0.04703562 -1.01910506 -0.44422528  
  
sd(ranef(m)$group[,1]) # random intercept  
  
[1] 0.9307632
```

Modelli di equazioni strutturali (SEM)

La **regressione lineare** consiste nel determinare il legame tra due variabili attraverso una funzione lineare del tipo

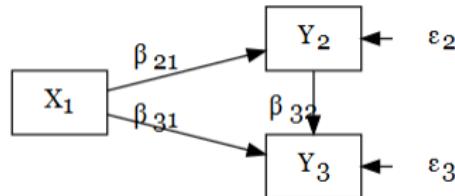
$$Y = \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \epsilon$$



Un limite dei modelli lineari (semplici o multilivello) è quello di poter modellare **una variabile dipendente per volta** (sono modelli univariati) attraverso un'unica equazione.

I modelli di equazioni strutturali sono modelli multivariati che permettono di modellare simultaneamente diverse variabili dipendenti attraverso un sistema di equazioni:

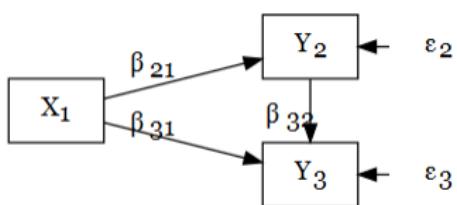
$$\begin{cases} Y_2 = \beta_{21}X_1 + \epsilon_2 \\ Y_3 = \beta_{31}X_1 + \beta_{32}Y_2 + \epsilon_3 \end{cases}$$



SEM: Variabili, modello e matrici di covarianza

$$\left\{ \begin{array}{l} Y_2 = \beta_{21}X_1 + \epsilon_2 \\ \\ Y_3 = \beta_{31}X_1 + \beta_{32}Y_2 + \epsilon_3 \end{array} \right.$$

Matrice di covarianza: matrice di varianze (triangolo inferiore e superiore) e covarianze (diagonale): è il punto di partenza del processo di stima



- **Variabili esogene** (X_1): ‘causate’ all'esterno del modello (predittori), non viene stimato l'errore
 - **Variabili endogene** (Y_2, Y_3): ‘causate’ all'interno del modello (dipendenti e/o predittori), viene stimato l'errore ϵ

$$S = \begin{pmatrix} S(y_2, y_2), S(y_2, y_3), S(y_2, x_1) \\ S(y_3, y_2), S(y_3, y_3), S(y_3, x_1) \\ S(x_1, y_2), S(x_1, y_3), S(x_1, x_1) \end{pmatrix}$$

Obiettivo dei SEM: stimare i parametri θ che rendano la **matrice di covarianza teorica** Σ il più simile possibile alla matrice empirica S : $H_0 : \hat{\Sigma}(\theta) = \Sigma$

dove $\hat{\Sigma}$ è la matrice riprodotta sulla base dei parametri stimati da S , mentre Σ è la matrice di covarianza vera.

SEM: Esercizio 7.2

Abbiamo i punteggi di 15 matricole di una grande università del midwest su 5 scale:

- **gravereq** = media dei voti sui corsi obbligatori (x1)
 - **gravelec** = media dei voti sui corsi opzionali (x2)
 - **knowledg** = voto di conoscenza generale della scuola superiore (x3)
 - **iqprevyr** = punteggio al QI nell'anno precedente (y1)
 - **edmotiv** = punteggio motivazionale dell'anno precedente (y2)

Si vuole valutare se le variabili x_1 , x_2 e x_3 sono **predittive dei voti** sui corsi.

1. Si importino i dati del file Finn.dat in R.

```

finn <- read.csv("data/Finn.dat", sep = "")

head(finn,3) # prime 3 righe

  gravereq gravelec knowledg iqprevyr edmotiv

  1      0.8      2.0       72      114     17.3
  2      2.2      2.2       78      117     17.6

```

2. Si produca la **matrice di covarianza** (S) tra le variabili del dataset.

```
cov(finn) # covarianze (nota: diagonale = varianze)
```

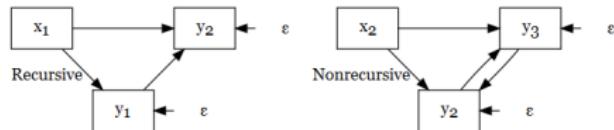
	x1	x2	x3	y1	y2
x1	0.5938095	0.4826190	3.992857	0.4261905	0.4990476
x2	0.4826190	0.7540952	3.625714	1.7566667	0.7155238
x3	3.9928571	3.6257143	47.457143	4.100000	6.2614286
y1	0.4261905	1.7566667	4.100000	10.2666667	0.5566667
y2	0.4990476	0.7155238	6.261429	0.5566667	2.6940952

SEM: Esercizio 7.2

3. Si definiscano le **equazioni del modello** in cui x_1 , x_2 e x_3 sono predittori di y_1 e y_2 .

```
m <- 'y1 ~ x1 + x2 + x3
      y2 ~ x1 + x2 + x3'
```

4. Si stimino i **parametri** del modello, definendolo in modo che sia **di tipo ricorsivo**.



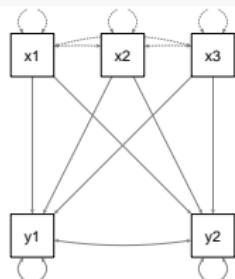
5. Si valuti la **significatività statistica** dei parametri. Qual'è l'ipotesi nulla sottostante ciascun parametro?

	lhs	op	rhs	est	se	z	pvalue
1	y1	-	x1	-2.378	1.245	-1.909	0.056
2	y1	-	x2	3.910	0.916	4.271	0.000
3	y1	-	x3	-0.012	0.121	-0.101	0.919
4	y2	-	x1	-0.605	0.764	-0.792	0.429
5	y2	-	x2	0.722	0.562	1.286	0.199
6	y2	-	x3	0.128	0.074	1.715	0.086
7	y1	--	y1	4.164	1.520	2.739	0.006
8	y2	--	y2	1.568	0.573	2.739	0.006
9	y1	--	y2	-0.912	0.701	-1.303	0.193
10	x1	--	x1	0.554	0.000	NA	NA
11	x1	--	x2	0.450	0.000	NA	NA
12	x1	--	x3	3.727	0.000	NA	NA
13	x2	--	x2	0.704	0.000	NA	NA
14	x2	--	x3	3.384	0.000	NA	NA
15	x3	--	x3	44.293	0.000	NA	NA

SEM: Esercizio 7.2

6. Si produca il grafico del modello

```
library(semPlot); semPaths(fit, sizeMan=15)
```



7. Si calcolino i seguenti **indici di fit** del modello: RMR, SRMR, R2 e TCD.

```
lavInspect(fit, what = "fit")[c("rmr", "srmr")]
```

```
rmr      srmr
```

```
4.225421e-08 8.309394e-09
```

```
lavInspect(fit, what = "rsquare") # R2
```

```
y1      y2
```

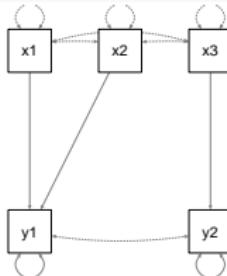
```
0.565 0.376
```

```
library(ADati); TCD(fit) # TCD = total R2
```

```
[1] 0.7609269
```

8. Si ridefinisca il modello **eliminando** i legami relativi ai **parametri non significativi**.

```
m <- 'y1 ~ x1 + x2
      y2 ~ x3
      y1 ~~ 0*y2' # covarianza fissata a zero
fit2 <- sem(m, data = finn)
semPaths(fit2, sizeMan=15)
```



9. Si stimino i **parametri** del nuovo modello (quanti sono?).

10. Si calcolino per questo modello gli stessi **indici di fit** già calcolati al punto 7 valutando se sia migliore del precedente.

SEM: Esercizio 7.2

```

# modello 1 (più complesso: 15 par)

parameterestimates(fit) [c(1:6,9),1:7]

      lhs op rhs     est      se     z pvalue
1 y1 ~ x1 -2.378 1.245 -1.909  0.056
2 y1 ~ x2  3.910 0.916  4.271  0.000
3 y1 ~ x3 -0.012 0.121 -0.101  0.919
4 y2 ~ x1 -0.605 0.764 -0.792  0.429
5 y2 ~ x2  0.722 0.562  1.286  0.199
6 y2 ~ x3  0.128 0.074  1.715  0.086
9 y1 ~~ y2 -0.912 0.701 -1.303  0.193

# modello 2 (più parsimonioso: 11 par)

parameterestimates(fit2) [1:4,1:7]

      lhs op rhs     est      se     z pvalue
1 y1 ~ x1 -2.450 1.022 -2.397  0.017
2 y1 ~ x2  3.897 0.907  4.297  0.000
3 y2 ~ x3  0.132 0.051  2.576  0.010
4 v1 ~~ y2  0.000 0.000      NA      NA

```

```

lavInspect(fit2, what = "fit")[,c("rmr","srmr")]

      rmr          srmr

0.08320553 0.04343779

lavInspect(fit2, what = "rsquare") # R2

y1      y2

0.565 0.307

TCD(fit2) # TCD = total R2

[1] 0.6948741

# AIC

cbind(AIC(fit,fit2),BIC(fit,fit2)[,2])

      df      AIC BIC(fit, fit2)[, 2]

fit    9 129.2322           135.6047

fit2   5 124.8809           128.4212

```

Esercizi

Regressione lineare multilivello

- 6.2 (grafici, ANOVA ed effetti random)**
- 6.9 (esplorative, Bayes Factor, eff. random)**
- 6.11 (grafici, descrittive, lm e lmer)**

Regressione lineare multivariata

- 7.1 (modelli e parametri)**
- 7.6 (modelli ricorsivi e non ricorsivi)**
- 7.20 (full SEM + analisi multigruppo)*

*Per scaricare il pacchetto ADati del prof. Pastore:

```
install.packages("devtools")
library(devtools)
install_github("https://github.com/masspastore/ADati")
library(ADati)
```

*Per caricare un dataset dal pacchetto ADati:

```
data(gambling, # nome del dataset
     package = "ADati")
```

**I dataset sono inclusi nella cartella

dati.esercizi.zip su Moodle (ADcom2122 > Materiale didattico > MateRiale eseRcizi), ma si possono scaricare anche da github.com/Luca-Menghini/eseRcitazioni/tree/main/data

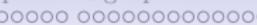
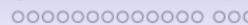
Get started

R objects

R workspace R graphics

Linear models LMER & SEM

Risorse



Risorse

Risorse: Primi passi con R

In italiano:

- Callagher, C. Z., & Gambarota, F. (2021). *Introduzione a R*. Corso introduttivo online:
<https://psicostat.github.io/Introduction2R>
- Agostinelli, C. (2000). *Introduzione a R*. Corso introduttivo PDF:
<https://cran.r-project.org/doc/contrib/manuale.0.3.pdf>
- Pastore, M. (2015). *Analisi dei dati in Psicologia (Con applicazioni in R)*. Bologna: Il Mulino.

In inglese:

- R Core Team. *The R Manuals*. Manuali in formato pdf:
<https://cran.r-project.org/manuals.html> (in particolare *An Introduction to R (with many examples, R Data Import/Export)*)
- UniGlasgow - PsyTheacR. Corso interattivo analisi dati con R:
<https://psyteachr.github.io/>
- Dalgaard, P. (2008). *Introductory statistics with R*. New York: Springer.

Risorse: argomenti specifici

Graphics:

- Videolezioni di approfondimento sul pacchetto `ggplot2`: disponibili su Moodle
<https://elearning.unipd.it/scuolapsicologia/mod/page/view.php?id=150311>
- Murrell (2011) *R Graphics* (II edition). New York: Chapman and Hall/CRC. Esempi con codice disponibili al sito
<https://www.stat.auckland.ac.nz/~paul/RGraphics/rgraphics.html>

Contatti



dott. Luca Menghini, Ph.D.

Assegnista di ricerca, Dipartimento di Psicologia,
Università degli Studi di Bologna

luca.menghini3@unibo.it

[Linkedin](#) | [ResearchGate](#) | [GitHub](#) | [Twitter](#)