

# Statistica I

Unità M: cenni alla correlazione parziale

**Tommaso Rigon**

**Università Milano-Bicocca**



## Argomenti affrontati

- La correlazione parziale
- Correlazione spuria
- Rapporti di causa ed effetto

## Riferimenti al libro di testo

- §7.6

# Una congettura

- Consideriamo nuovamente i dati analizzati nell'**unità J**, le province svizzere del 1888.
- Si supponga che un sociologo faccia le seguenti ipotesi sulle relazioni socio-economiche intercorrenti tra le variabili agricoltura, istruzione e fertilità.
- **Ipotesi 1**. Tra agricoltura ed istruzione esiste una sostanziale interdipendenza.
- Una possibile spiegazione è che la scuola venisse percepita come poco utile per il lavoro nei campi. Quindi, le province agricole rimanevano associate a bassi livelli di istruzione.
- Viceversa, un buon livello di istruzione potrebbe facilitare l'inserimento nelle attività secondarie e terziarie.
- È ragionevole quindi congetturare un **effetto diretto** tra agricoltura e istruzione. Scriveremo:

agricoltura  $\iff$  istruzione.

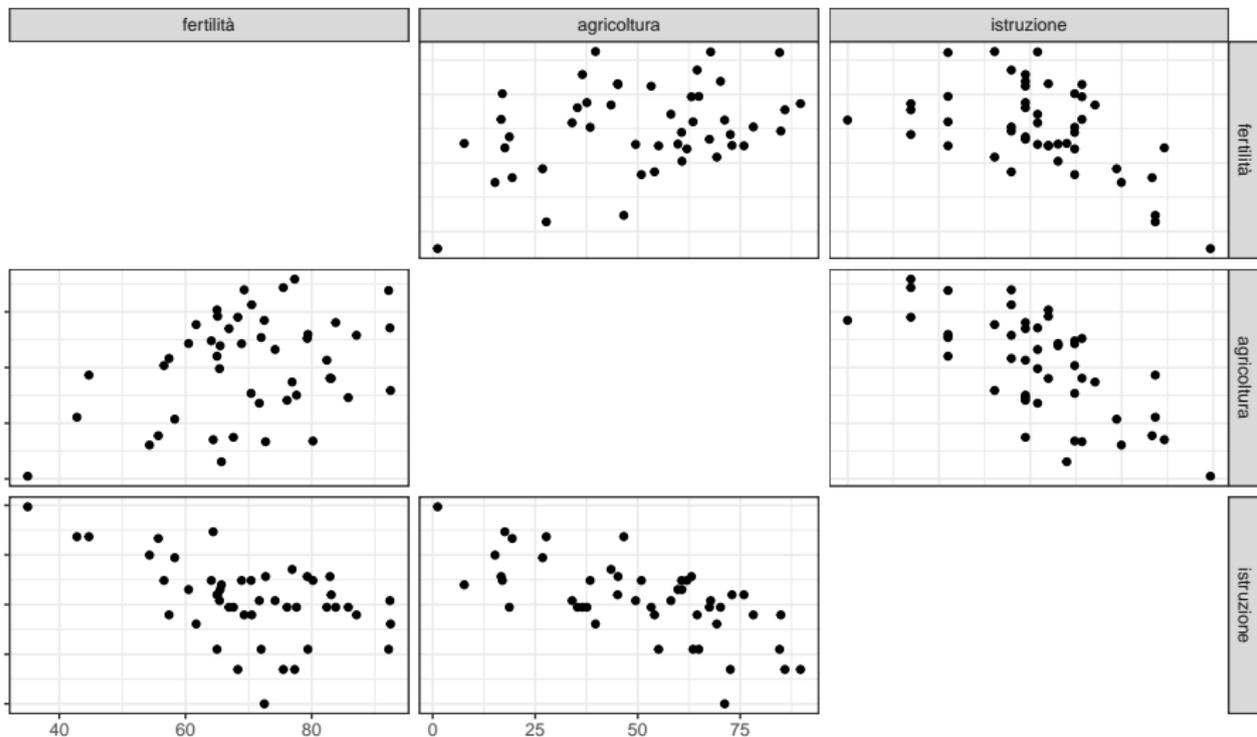
# Una congettura

- Ipotesi 2. Anche tra istruzione e fertilità esiste una sostanziale interdipendenza.
- Una possibile spiegazione è che coppie con buona istruzione vogliono (e sono capaci di) controllare la natalità.
- Allo stesso tempo, famiglie con pochi figli hanno più disponibilità di reddito e quindi più inclini a istruirli.
- È ragionevole quindi congetturare un **effetto diretto** tra fertilità ed istruzione. Scriveremo:

fertilità  $\iff$  istruzione.

- Cosa possiamo invece dire della relazione tra agricoltura e fertilità?

# I diagrammi a dispersione



# La correlazione spuria

- I grafici precedenti e i risultati dell'unità J evidenziano una **correlazione positiva** tra fertilità e agricoltura.
- **Ipotesi 3**. Per quanto riguarda la fertilità, congetturiamo che le province "molto agricole e colte" abbiano un comportamento simile a province "poco agricole ma colte".
- In altri termini, supponiamo non vi sia alcuna relazione diretta tra agricoltura e fertilità.
- La relazione osservata precedentemente è comunemente detta **correlazione spuria**.
- Infatti, l'associazione positiva tra queste due variabili è dovuto al fatto che l'agricoltura è legata all'istruzione, che a sua volta è legata alla fertilità.

# Sommario della congettura

- Complessivamente, il sommario delle relazioni che il sociologo ipotizza tra le tre variabili è rappresentabile schematicamente come segue

agricoltura  $\iff$  istruzione  $\iff$  fertilità.

- Il punto cruciale della congettura è l'inesistenza di una freccia che metta in relazione diretta agricoltura e fertilità.
- È possibile trovare un qualche **indicatore statistico** a supporto di questa congettura?
- In altri termini, come possiamo valutare la "correlazione" tra agricoltura e fertilità al netto dell'effetto dell'istruzione?

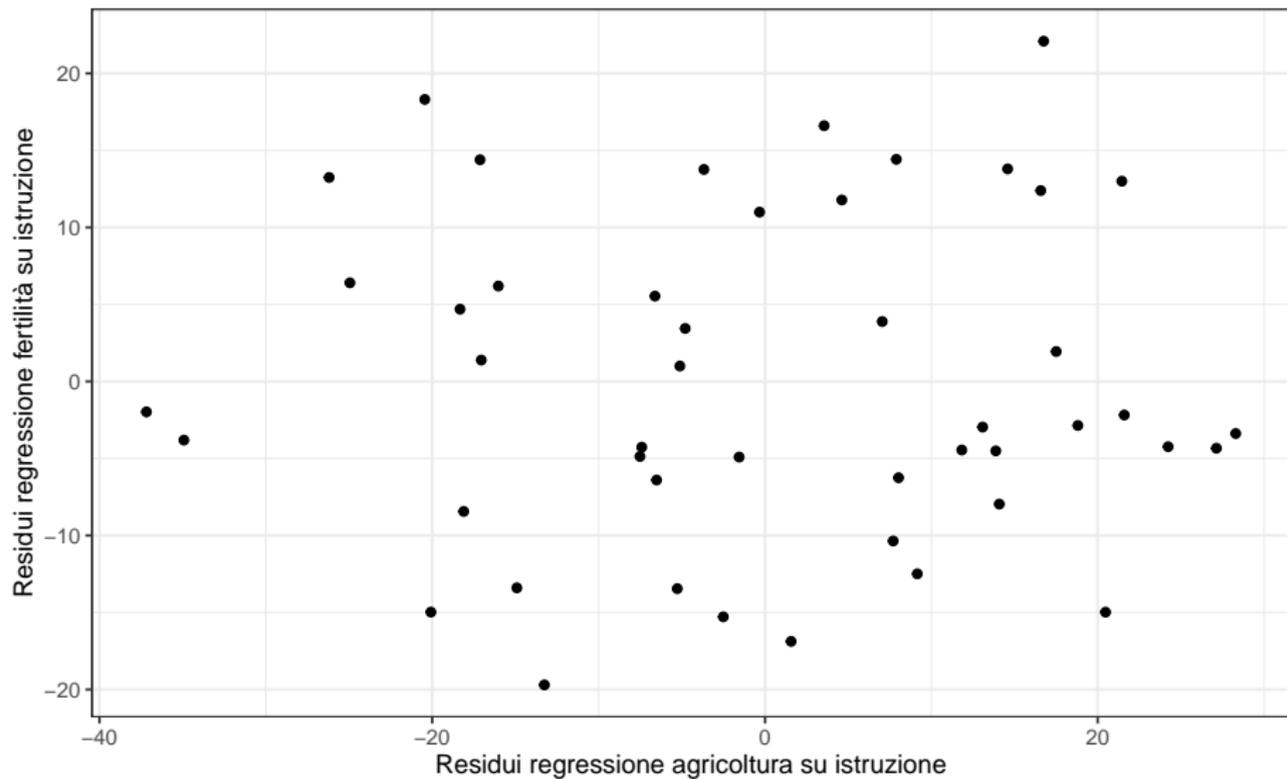
# Formalizzazione della congettura

- Una possibile modo di affrontare il problema è supporre la seguente scomposizione  
$$\text{agricoltura} = (\text{parte } \text{legata} \text{ ad istruzione}) + (\text{parte } \text{non legata} \text{ ad istruzione}),$$
  
e parallelamente che  
$$\text{fertilità} = (\text{parte } \text{legata} \text{ ad istruzione}) + (\text{parte } \text{non legata} \text{ ad istruzione}).$$
- Se accettiamo questa formalizzazione, possiamo quindi tentare di identificare la "parte non legate ad istruzione" e studiarne le relazioni.
- Infatti, siamo interessati a studiare la relazione tra agricoltura e fertilità avendo eliminato l'effetto dell'istruzione.
- Questa scomposizione richiama al modello di **regressione lineare semplice**.

# La correlazione parziale

- Supponendo che le relazioni intercorrenti tra le variabili siano lineari, un modo di procedere è il seguente.
- **Step 1.** Si costruisce un modello di regressione lineare usando *agricoltura* come variabile risposta e *istruzione* come variabile esplicativa.
- Si calcolano i **residui del modello**, che identificano la parte di *agricoltura* non legata all'*istruzione*.
- **Step 2.** In maniera analoga, si costruisce un modello di regressione lineare usando *fertilità* come variabile risposta e *istruzione* come variabile esplicativa.
- Si anche in questo caso i **residui del modello**, che identificano la parte di *fertilità* non legata all'*istruzione*.
- **Step 3.** Si calcola la **correlazione** tra i residui calcolati agli Step 1 e 2.

# Diagramma a dispersione dei residui



# La correlazione parziale

- Il coefficiente ottenuto allo Step 3 viene chiamato **coefficiente di correlazione parziale** tra agricoltura e fertilità data l'istruzione.
- Calcolato con i dati disponibili, tale coefficiente è pari a  $-0.0021$ .
- Il valore è molto vicino allo zero, che indica che tra i residui dei due modelli non esiste una relazione lineare importante, come confermato dal grafico precedente.
- I dati sembrano essere quindi in accordo con la congettura fatta: al netto dell'istruzione, pare non esserci alcun legame diretto tra fertilità e istruzione.

# Esercizio: la correlazione parziale

- Siano  $x$ ,  $y$  e  $z$  tre variabili numeriche rilevate sulle stesse unità statistiche. Si indichino  $(x_1, \dots, x_n)$  i dati su  $x$  e in maniera analoga per  $y$  ed  $z$ .
- **Esercizio - proprietà.** Si dimostri che

$$\text{cov}(\tilde{x}, \tilde{y}) = \text{cov}(x, y) - \frac{\text{cov}(x, z)\text{cov}(y, z)}{\text{var}(z)},$$

dove  $\tilde{x}$  e  $\tilde{y}$  indicano i residui della regressione rispettivamente di  $x$  su  $z$  e  $y$  su  $z$ , ovvero

$$\tilde{x}_i = x_i - \bar{x} - \frac{\text{cov}(x, z)}{\text{var}(z)}(z_i - \bar{z}), \quad i = 1, \dots, n,$$

e

$$\tilde{y}_i = y_i - \bar{y} - \frac{\text{cov}(y, z)}{\text{var}(z)}(z_i - \bar{z}), \quad i = 1, \dots, n.$$

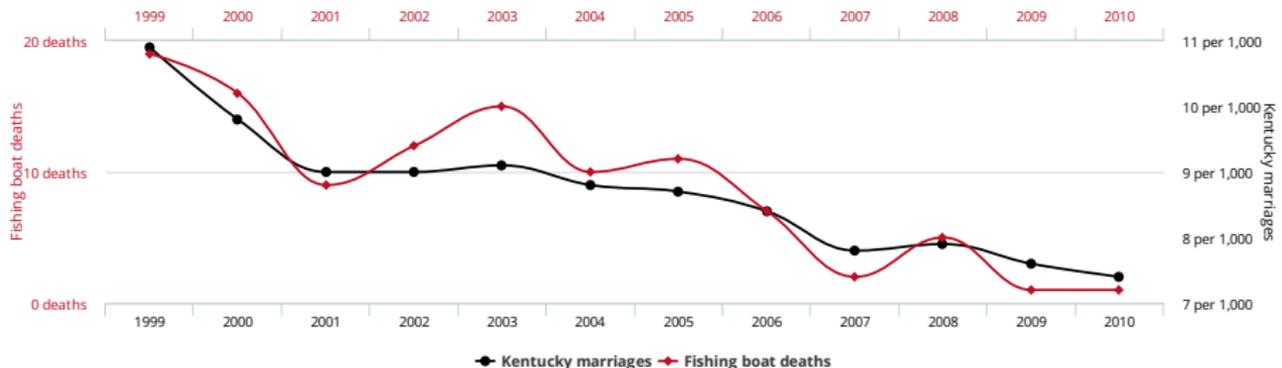
- **Nota.** Questa formula permette, insieme alle formule dell'unità K, di calcolare agevolmente il coefficiente di correlazione parziale tra  $x$  ed  $y$  dato  $z$ .

# La correlazione spuria

- L'esempio delle province svizzere evidenzia l'esistenza delle **correlazioni spurie**.
- Ci sono sostanzialmente due ragioni per cui si osservano le correlazioni spurie.
- **Motivo I**. La correlazione (spuria) è dovuta all'effetto del caso e l'associazione è interamente dovuta ad oscillazioni casuali.
- Esistono degli strumenti per tenere sotto controllo questo fenomeno, che verranno illustrati nei corsi di inferenza statistica.
- **Motivo II**. La correlazione (spuria) è dovuta all'effetto di una causa comune.
- Questo è il caso delle province svizzere: la correlazione tra agricoltura e fertilità sembra fosse dovuta alla variabile istruzione.

# Correlazione spuria: motivo I

People who drowned after falling out of a fishing boat  
correlates with  
Marriage rate in Kentucky



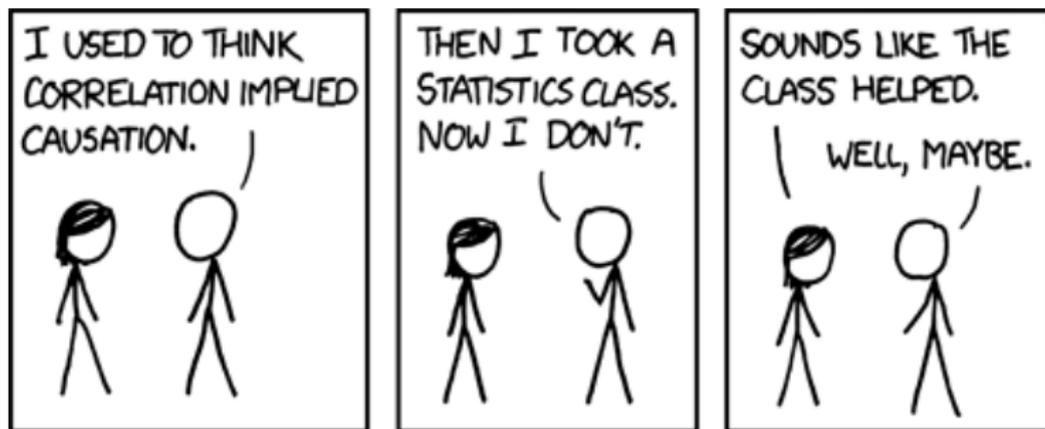
tylervigen.com

- La correlazione in questo caso è pari a  $\rho = 0.95$ .
- **Sito web:** <https://www.tylervigen.com/spurious-correlations>

# Correlazione spuria: motivo II

- La presenza di correlazione tra due fenomeni **non** è sufficiente per stabilire un **rapporto di causa-effetto**.
- Come ulteriore esempio, pare ci sia una correlazione negativa tra inquinamento ed il numero di pirati nel mondo.
- La correlazione è spuria: i pirati non causano l'inquinamento né viceversa.
- Esiste tuttavia una causa comune, plausibilmente l'industrializzazione, che determina l'andamento di entrambi i fenomeni.
- La **correlazione parziale** aiuta a identificare correlazioni spurie di questo tipo, ma necessita di congetture fornite da esperti del settore.
- Identificare rapporti di causa-effetto è difficile e la statistica da sola non basta.

# Correlazione non implica causalità



- **Sito web:** <https://xkcd.com/552/>