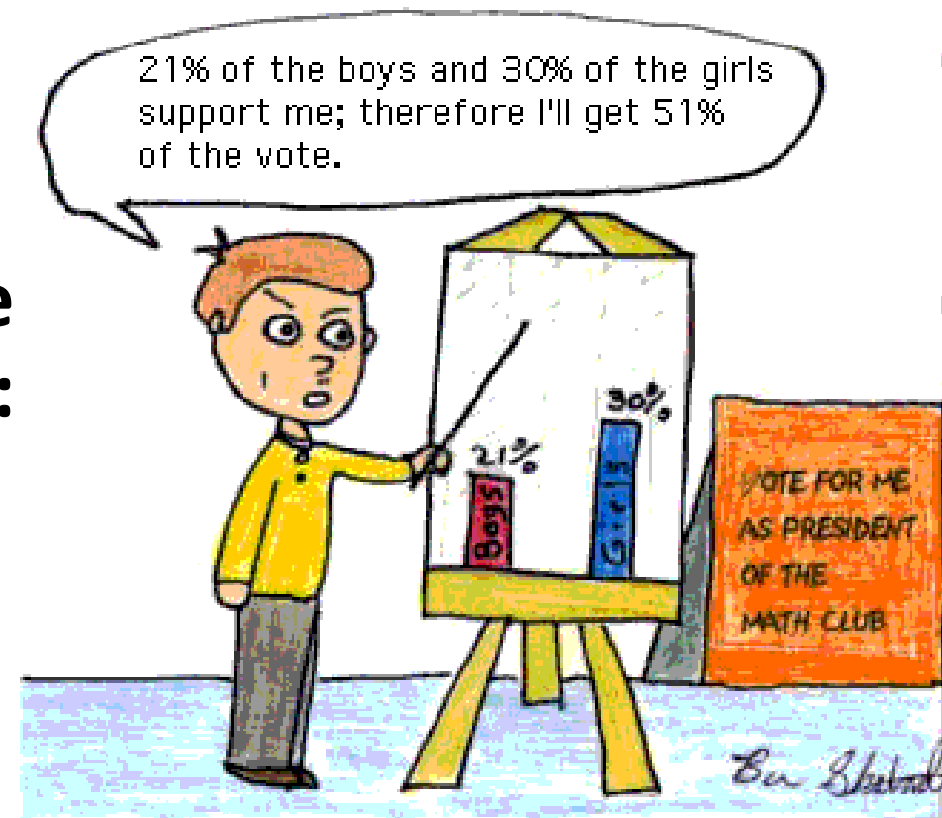




# Analisi delle distribuzioni doppie di caratteri di natura qualsiasi: dipendenza



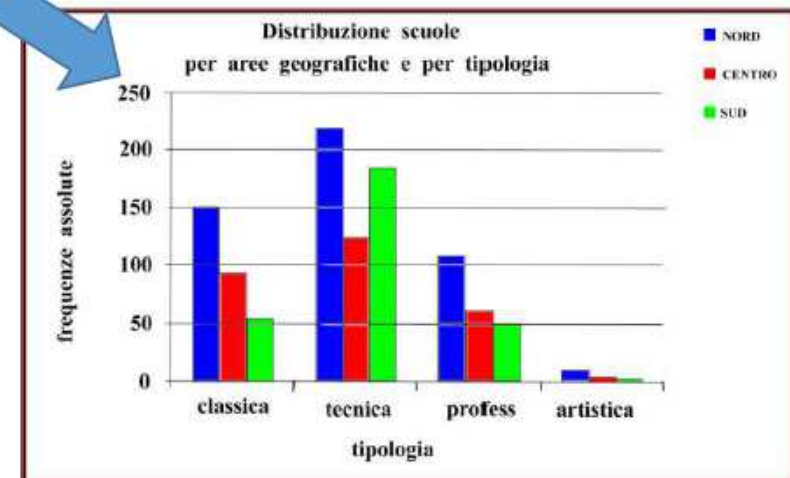
# Statistica univariata

Tutto ciò che abbiamo visto fino ad ora aveva a che fare con la **statistica univariata**. E che significa? Significa che **analizzavamo una variabile alla volta**.

## Esempi

- ✓ Istogramma peso (1 variabile: peso),
- ✓ diagramma a torta genere (1 variabile: genere),
- ✓ varianza del numero esami sostenuti

Esempio di più variabili analizzate allo stesso tempo



# Da 1 a 2 variabili cambiano gli obiettivi

## Obiettivi



### Univariata

1 sola variabile. Vogliamo:

- 1) Sintetizzarla
- 2) Descriverla
- 3) Grafici maggiormente utilizzati: boxplot-istogrammi, grafici a barre semplici, grafici a torte

### Bivariata

2 variabili. Vogliamo:

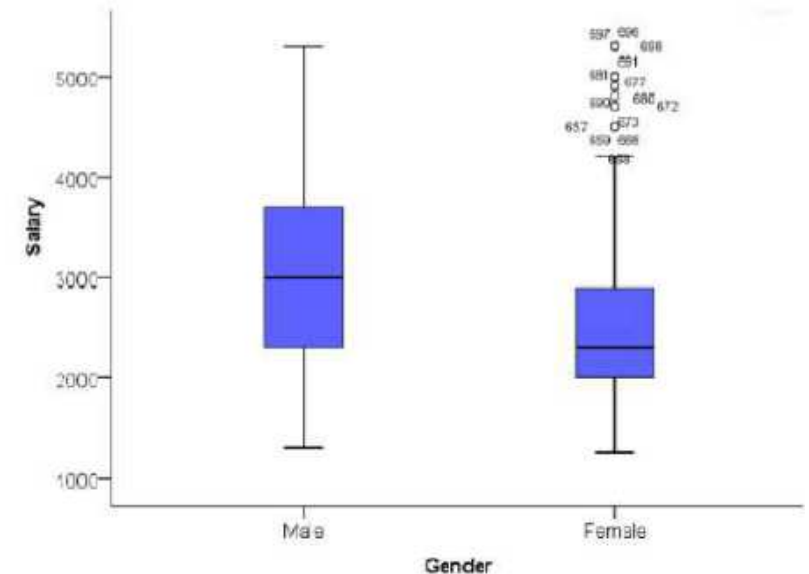
- 1) Capire se hanno una relazione
- 2) Capire se una causa l'altra
- 3) Grafici maggiormente utilizzati: grafici a barre sovrapposte o affiancate, boxplot condizionati, **diagrammi a dispersione**

Si passa da una idea puramente **descrittiva** di un fenomeno al cercare la sua **spiegazione** (introducendo una nuova variabile)

# Che tipo di analisi bivariate possiamo condurre?



Oss	maschi	femmine	Totale marginale di riga
ripetenti	12	4	16
non ripetenti	7	16	23
Totale marginale di colonna	19	20	39



Entrambe **quantitative**    Entrambe **qualitative** (incroci di categorie)

Una **numerica** e una **qualitativa**

# Che tipo di analisi bivariate possiamo condurre?

*Nel caso di **variabili qualitative**, si può parlare di:*

- o1) Tabelle di contigenza e misure di associazione

*Nel caso di **variabili quantitative**, si può parlare di:*

- o1) Covarianza
- o2) Correlazione
- o3) Diagramma a dispersione
- o4) Analisi della dipendenza

## Tabella di contingenza: due variabili qualitative che si incrociano

		<u>Fumo</u>	
		Sì	No
<u>Genere</u>	M	25	35
	F	20	30

La tabella generata si chiama **tabella di contingenza**

Essa incrocia le modalità di **2 variabili**, formando delle celle che sono dei veri e propri incroci, cioè individui che presentano contemporaneamente **la modalità in riga e quella in colonna**



Si lavora sulle **frequenze che si incrociano**

## La tabella di contingenza in dettaglio

Variabile Fumo      Modalità fumo: si o no?

Ogni cella, frequenza congiunta

		<u>Fumo</u>		
		Sì	No	
Variabile Genere	M	25	35	60
	<u>Genere</u> F	20	30	50
Modalità genere: M o F?		45	65	

Ogni cella esterna frequenza marginale (o di riga o di colonna)

La somma delle frequenze marginali, o di riga o di colonna, darà sempre il totale, che qui è uguale a 110

Quindi, N=110



## Perché si costruisce?

- Vogliamo valutare la **relazione** (presente o meno) tra due variabili qualitative
- Vogliamo comunque vedere la **distribuzione congiunta** delle due insieme
- Congiunta, cioè **insieme**: frequenze congiunte nelle celle frutto di incroci
- Vogliamo valutare la **distribuzione condizionata** di una rispetto all'altra
- Condizionata, **cioè una data l'altra**: una sola colonna o una sola riga
- La relazione tra due variabili qualitative prende **il nome di associazione**

## Esempi di tabelle di contingenza

	Soda	Coffee	Tea	Water	Total
20-29	10	8	5	2	25
30-39	11	9	2	3	25
40-49	8	9	1	7	25
50-59	9	8	3	5	25
Total	38	34	11	17	100



Anche variabili quantitative discretizzate (età) possono essere usate in tabelle di contingenza

Health status	Gender	Test result		
		Positive	Negative	Equivocal
Diseased	Male	a	b	c
	Female	d	e	f
Healthy	Male	g	h	i
	Female	j	k	l

Here, one variable depicts health status, another depicts gender, and the third depicts the outcome in the form a test result



Oltre che due variabili, è possibile addirittura incrociarne ben 3!!  
La tabella si complica ma fino a 3 variabili è ancora leggibile

# Tabella di contingenza

**Tabella di contingenza**: sinonimo di **distribuzione doppia di frequenze**, ossia di distribuzione di frequenze secondo due caratteri.

Età	Grado d'istruzione				Totale
	Non ha terminato le superiori	Diploma di scuola superiore	Università da 1 a 3 anni	Università oltre i 4 anni	
da 25 a 34	4459	11562	10693	11071	37785
da 35 a 54	9174	26455	22647	23160	81436
oltre 55	14226	20060	11125	10597	56008
<b>Totale</b>	<b>27859</b>	<b>58077</b>	<b>44465</b>	<b>44828</b>	<b>175229</b>

## Tabella di contingenza: distribuzione marginale(1)

Le frequenze che appaiono nell'ultima riga, pari ai totali di colonna, si riferiscono unicamente al carattere "Grado d'istruzione"; esse configurano, insieme alle modalità, la **distribuzione marginale del carattere** in questione.

Età	Grado d'istruzione				Totale
	Non ha terminato le superiori	Diploma di scuola superiore	Università da 1 a 3 anni	Università oltre i 4 anni	
da 25 a 34	4459	11562	10693	11071	37785
da 35 a 54	9174	26455	22647	23160	81436
oltre 55	14226	20060	11125	10597	56008
<b>Totale</b>	27859	58077	44465	44828	175229

## Tabella di contingenza: distribuzione marginale(2)

Le frequenze che appaiono nell'ultima colonna, pari ai totali di riga, si riferiscono unicamente al carattere "Età"; esse configurano, insieme alle modalità, la distribuzione marginale del carattere in questione.

Età	Grado d'istruzione				Totale
	Non ha terminato le superiori	Diploma di scuola superiore	Università da 1 a 3 anni	Università oltre i 4 anni	
da 25 a 34	4459	11562	10693	11071	37785
da 35 a 54	9174	26455	22647	23160	81436
oltre 55	14226	20060	11125	10597	56008
<b>Totale</b>	27859	58077	44465	44828	175229

# Tabella di contingenza in simboli

Carattere X	Carattere Y						Totale
	$y_1$	$y_2$	...	$y_j$	...	$y_t$	
$x_1$	$n_{11}$	$n_{12}$	⋮	$n_{1j}$	⋮	$n_{1t}$	$n_{10}$
$x_2$	$n_{21}$	$n_{22}$	⋮	$n_{2j}$	⋮	$n_{2t}$	$n_{20}$
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
$x_i$	$n_{i1}$	$n_{i2}$	⋮	$n_{ij}$	⋮	$n_{it}$	$n_{i0}$
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
$x_s$	$n_{s1}$	$n_{s2}$	⋮	$n_{sj}$	⋮	$n_{st}$	$n_{s0}$
Totale	$n_{01}$	$n_{02}$	⋮	$n_{0j}$	⋮	$n_{0t}$	$N$

- ❑ questi simboli indicano modalità di caratteri qualitativi, oppure valori o classi di caratteri quantitativi (s è il numero di modalità di X, t il numero di modalità di Y)
- ❑  $n_{ij}$  è la frequenza della coppia di modalità  $(x_i, y_j)$  -FREQUENZE CONGIUNTE
- ❑  $n_{i0}$  e  $n_{0j}$  sono i totali di riga e di colonna -FREQUENZE MARGINALI

## Tabella di contingenza: percentuali sul totale

Età	Grado d'istruzione				Totale
	Non ha terminato le superiori	Diploma di scuola superiore	Università da 1 a 3 anni	Università oltre i 3 anni	
da 25 a 34	2.5%	6.6%	6.1%	6.3%	21.6%
da 35 a 54	5.2%	15.1%	12.9%	13.2%	46.5%
oltre 55	8.1%	11.4%	6.3%	6.0%	32.0%
<b>Totale</b>	15.9%	33.1%	25.4%	25.6%	100%

La percentuale che appare in una data casella indica la frequenza percentuale delle unità del collettivo in esame che presentano le modalità che corrispondono a tale casella (in alto e nel margine sinistro).

Ad esempio il 15.1% delle unità statistiche del collettivo statistico in esame hanno un'età compresa fra i 35 e 54 ed il diploma di scuola superiore

## Tabella di contingenza: percentuali sul totale in simboli

Carattere X	Carattere Y						Totale
	$y_1$	$y_2$	...	$y_j$	...	$y_t$	
$x_1$	$p_{11}$	$p_{12}$	⋮	$p_{1j}$	⋮	$p_{1t}$	$p_{10}$
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
$x_i$	$p_{i1}$	$p_{i2}$	⋮	$p_{ij}$	⋮	$p_{it}$	$p_{i0}$
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
$x_s$	$p_{s1}$	$p_{s2}$	⋮	$p_{sj}$	⋮	$p_{st}$	$p_{s0}$
Totale	$p_{01}$	$p_{02}$	⋮	$p_{0j}$	⋮	$p_{0t}$	100

$$p_{ij} = \frac{n_{ij}}{N} \times 100$$

Frequenza percentuale congiunta  
della modalità  $(x_i, y_j)$

$$p_{i0} = \frac{n_{i0}}{N} \times 100$$

Frequenza percentuale marginale  
della modalità  $x_i$

$$p_{0j} = \frac{n_{0j}}{N} \times 100$$

Frequenza percentuale marginale  
della modalità  $y_j$

$$\sum_{i=1}^s \sum_{j=1}^t p_{ij} = 100$$

$$\sum_{i=1}^s p_{i0} = 100$$

$$\sum_{j=1}^t p_{0j} = 100$$



## Tabella di contingenza: distribuzioni condizionate (1)

Età	Grado d'istruzione				Totale
	Non ha terminato le superiori	Diploma di scuola superiore	Università da 1 a 3 anni	Università oltre i 4 anni	
da 25 a 34	4459	11562	10693	11071	37785
da 35 a 54	9174	26455	22647	23160	81436
oltre 55	14226	20060	11125	10597	56008
<b>Totale</b>	27859	58077	44465	44828	175229

Prendere una distribuzione condizionata equivale a considerare la distribuzione del carattere “**Grado d'istruzione**” limitatamente ai casi in cui il **carattere età è compreso ad esempio nell'intervallo 35-54.**

## Tabella di contingenza: distribuzioni condizionate (2)

Se, invece, associamo alle modalità del carattere “Età” le frequenze di una colonna interna della tabella, otteniamo una **distribuzione condizionata**.

Età	Grado d'istruzione				Totale
	Non ha terminato le superiori	Diploma di scuola superiore	Università da 1 a 3 anni	Università oltre i 4 anni	
da 25 a 34	4459	11562	10693	11071	37785
da 35 a 54	9174	26455	22647	23160	81436
oltre 55	14226	20060	11125	10597	56008
<b>Totale</b>	27859	58077	44465	44828	175229

Prendere una distribuzione condizionata equivale a considerare la distribuzione del carattere “Età” limitatamente ai casi in cui il carattere Grado di istruzione è uguale ad esempio al diploma di scuola superiore.

# Distribuzione marginale e distribuzioni condizionate di Y in simboli

Le due righe segnalate in rosso configurano la distribuzione marginale del carattere Y. Le due righe segnalate in giallo configurano la generica distribuzione condizionata di Y rispetto ad una data modalità di X.

Carattere X	Carattere Y						Totale
	$y_1$	$y_2$	...	$y_i$	...	$y_t$	
$x_1$	$n_{11}$	$n_{12}$	⋮	$n_{1j}$	⋮	$n_{1t}$	$n_{10}$
$x_2$	$n_{21}$	$n_{22}$	⋮	$n_{2j}$	⋮	$n_{2t}$	$n_{20}$
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
$x_i$	$n_{i1}$	$n_{i2}$	⋮	$n_{ij}$	⋮	$n_{it}$	$n_{i0}$
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
$x_s$	$n_{s1}$	$n_{s2}$	⋮	$n_{sj}$	⋮	$n_{st}$	$n_{s0}$
Totale	$n_{01}$	$n_{02}$	⋮	$n_{0j}$	⋮	$n_{0t}$	N

## Distribuzione marginale e distribuzioni condizionate di X in simboli

Le due righe segnalate in rosso configurano la **distribuzione marginale del carattere X**.  
 Le due righe segnalate in giallo configurano la **generica distribuzione condizionata di X rispetto ad una data modalità di Y**.

Carattere X	Carattere Y						Totale
	$y_1$	$y_2$	...	$y_j$	...	$y_t$	
$x_1$	$n_{11}$	$n_{12}$	$\vdots$	$n_{1j}$	$\vdots$	$n_{1t}$	$n_{10}$
$x_2$	$n_{21}$	$n_{22}$	$\vdots$	$n_{2j}$	$\vdots$	$n_{2t}$	$n_{20}$
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$
$x_i$	$n_{i1}$	$n_{i2}$	$\vdots$	$n_{ij}$	$\vdots$	$n_{it}$	$n_{i0}$
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$
$x_s$	$n_{s1}$	$n_{s2}$	$\vdots$	$n_{sj}$	$\vdots$	$n_{st}$	$n_{s0}$
Totale	$n_{01}$	$n_{02}$	$\vdots$	$n_{0j}$	$\vdots$	$n_{0t}$	$N$

## Tabella di contingenza: confronto delle distribuzioni condizionate

L'idea che sarà sviluppata è quella di confrontare le distribuzioni condizionate di un carattere rispetto alle modalità dell'altro per stabilire se i due caratteri sono legati.

Questo confronto **non può che essere effettuato prendendo le frequenze relative o percentuali di riga (o di colonna)** delle distribuzioni da confrontare.

Una distribuzione marginale o condizionata in cui si considerano le frequenze relative o percentuali (*sul totale di riga o di colonna*) verrà qualificata come **normalizzata** (*ad 1 se si considerano le frequenze relative, a 100 se si considerano le frequenze percentuali*).

**I caratteri possono essere di natura qualsiasi.**

## Tabella di contingenza: confronto delle distribuzioni condizionate- esempio

**Esempio:** si vuole stabilire se il carattere “Grado d’istruzione” sia legato all’età; in altre parole, si vuole accertare se l’appartenenza a una data classe di età influisca, determini, in qualche misura, i livelli di istruzione degli individui di quella classe.

Non è possibile confrontare direttamente le frequenze assolute registrate da una data modalità del grado di istruzione nelle diverse classi di età perché per ogni classe di età si registra un numero diverso di unità statistiche (frequenza marginale di riga).

Per effettuare il confronto si possono calcolare le **percentuali** (o le **proporzioni**) sul totale di riga **normalizzando** in tal modo i sotto-collettivi distinti per classe di età:

**si considera un sotto-collettivo di numerosità 100 (o 1) per ogni classe di età**

## Tabella di contingenza

Età	Grado d'istruzione				Totale
	Non ha terminato le superiori	Diploma di scuola superiore	Università da 1 a 3 anni	Università oltre i 4 anni	
da 25 a 34	4459	11562	10693	11071	<b>37785</b>
da 35 a 54	9174	26455	22647	23160	<b>81436</b>
oltre 55	14226	20060	11125	10597	<b>56008</b>
<b>Totale</b>	<b>27859</b>	<b>58077</b>	<b>44465</b>	<b>44828</b>	<b>175229</b>

Tabella di contingenza: percentuali sul totale di riga  
(distribuzione percentuale di Y condizionata ad X)

**esempio**

Età	Grado d'istruzione				Totale
	Non ha terminato le superiori	Diploma di scuola superiore	Università da 1 a 3 anni	Università oltre i 3 anni	
da 25 a 34	11.8%	30.6%	28.3%	29.3%	100%
da 35 a 54	11.3%	32.5%	27.8%	28.4%	100%
oltre 55	25.4%	35.8%	19.9%	18.9%	100%
Distribuzione marginale % del grado di istruzione	15.9%	33.1%	25.4%	25.6%	100%

La percentuale che appare in una data casella indica la percentuale delle unità del sotto-collettivo di età compresa nella classe indicata in riga che presentano il grado di istruzione indicato in colonna.

*Ad esempio il 32.5% delle unità statistiche che hanno un'età compresa fra i 35 e 54 ha il diploma di scuola superiore.*



## Distribuzione percentuale di Y condizionata ad X in simboli

Carattere X	Carattere Y						Totale
	$y_1$	$y_2$	...	$y_j$	...	$y_t$	
$x_1$	$p_{1/x1}$	$p_{2/x1}$	⋮	$p_{j/x1}$	⋮	$p_{t/x1}$	100
$x_2$	$p_{1/x2}$	$p_{2/x2}$	⋮	$p_{j/x2}$	⋮	$p_{t/x2}$	100
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
$x_i$	$p_{1/xi}$	$p_{2/xi}$	⋮	$p_{j/xi}$	⋮	$p_{t/xi}$	100
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
$x_s$	$p_{1/xs}$	$p_{2/xs}$	⋮	$p_{j/xs}$	⋮	$p_{t/xs}$	100
Distribuzione % marginale di y	$p_{01}$	$p_{02}$	⋮	$p_{0j}$	⋮	$p_{0t}$	100

$$p_{j/x_i} = \frac{n_{ij}}{n_{i0}} \times 100$$

Frequenza percentuale della modalità  $y_j$  condizionata alla modalità  $x_i$

$$p_{0j} = \frac{n_{0j}}{N} \times 100$$

Frequenza percentuale marginale della modalità  $y_j$

$$\sum_{j=1}^t p_{j/x_i} = 100, \quad i = 1, 2, \dots, s$$

## Tabella di contingenza: confronto delle distribuzioni condizionate- esempio (2)

### **Esempio:**

se si volesse confrontare la composizione in termini di età di ogni sotto-collettivo omogeneo rispetto al titolo di studio, si dovrebbero calcolare le **percentuali** (o le *proporzioni*) sul totale di colonna **normalizzando** in tal modo i sotto-collettivi distinti per grado di istruzione: **si considera un sotto-collettivo di numerosità 100 (o 1) per ogni livello di istruzione**

## Tabella di contingenza

Età	Grado d'istruzione				Totale
	Non ha terminato le superiori	Diploma di scuola superiore	Università da 1 a 3 anni	Università oltre i 4 anni	
da 25 a 34	4459	11562	10693	11071	<b>37785</b>
da 35 a 54	9174	26455	22647	23160	<b>81436</b>
oltre 55	14226	20060	11125	10597	<b>56008</b>
<b>Totale</b>	<b>27859</b>	<b>58077</b>	<b>44465</b>	<b>44828</b>	<b>175229</b>

## Tabella di contingenza: percentuali sul totale di colonna (distribuzione percentuale di X condizionata ad Y)

**esempio**

Età	Grado d'istruzione				Distribuzione % marginale dell'età
	Non ha terminato le superiori	Diploma di scuola superiore	Università da 1 a 3 anni	Università oltre i 3 anni	
da 25 a 34	16.0%	19.9%	24.0%	24.7%	21.6%
da 35 a 54	32.9%	45.6%	50.9%	51.7%	46.5%
oltre 55	51.1%	34.5%	25.0%	23.6%	32.0%
<b>Totale</b>	100%	100%	100%	100%	100%

La percentuale che appare in una data casella indica la percentuale delle unità del sotto-collettivo omogeneo rispetto al grado di istruzione indicato in colonna che hanno età nella classe indicata in riga.

*Ad esempio il 45.6% delle unità statistiche aventi il diploma di scuola superiore ha un'età compresa fra 35 e 54 anni.*

## Distribuzione percentuale di X condizionata ad Y in simboli

Carattere X	Carattere Y						Distribuzione % marginale di X
	$y_1$	$y_2$	...	$y_j$	...	$y_t$	
$x_1$	$p_{1/y1}$	$p_{1/y2}$	⋮	$p_{1/yj}$	⋮	$p_{1/yt}$	$p_{10}$
$x_2$	$p_{2/y1}$	$p_{2/y2}$	⋮	$p_{2/yj}$	⋮	$p_{2/yt}$	$p_{20}$
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
$x_i$	$p_{i/y1}$	$p_{i/y2}$	⋮	$p_{i/yj}$	⋮	$p_{i/yt}$	$p_{i0}$
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
$x_s$	$p_{s/y1}$	$p_{s/y2}$	⋮	$p_{s/yj}$	⋮	$p_{s/yt}$	$p_{s0}$
Totale	<b>100</b>	<b>100</b>	⋮	<b>100</b>	⋮	<b>100</b>	<b>100</b>

$$p_{i/y_j} = \frac{n_{ij}}{n_{0j}} \times 100$$

Frequenza percentuale della modalità  $x_i$  condizionata alla modalità  $y_j$

$$p_{i0} = \frac{n_{i0}}{N} \times 100$$

Frequenza percentuale marginale della modalità  $y_j$

$$\sum_{i=1}^s p_{i/y_j} = 100, \quad j = 1, 2, \dots, t$$

## Confronto delle distribuzioni condizionate- esempio

Gruppo di lauree	Numero di Laureati			Percentuali riga			Percentuali colonna		
	Uomini	Donne	Totale	Uomini	Donne	Totale	Uomini	Donne	Totale
agrarario	2002	1664	3666	54.6%	45.4%	100%	2.7%	1.5%	2.0%
architettura	4544	5022	9566	47.5%	52.5%	100%	6.2%	4.5%	5.2%
chimico-farmaceutico	1954	3299	5253	37.2%	62.8%	100%	2.7%	3.0%	2.8%
economico-statistico	12286	13417	25703	47.8%	52.2%	100%	16.7%	12.1%	13.9%
educazione fisica	2002	1341	3343	59.9%	40.1%	100%	2.7%	1.2%	1.8%
geo-biologico	3264	6627	9891	33.0%	67.0%	100%	4.4%	6.0%	5.4%
giuridico	3948	6413	10361	38.1%	61.9%	100%	5.4%	5.8%	5.6%
ingegneria	16832	5315	22147	76.0%	24.0%	100%	22.9%	4.8%	12.0%
insegnamento	672	8789	9461	7.1%	92.9%	100%	0.9%	7.9%	5.1%
letterario	4757	11702	16459	28.9%	71.1%	100%	6.5%	10.5%	8.9%
linguistico	1570	9335	10905	14.4%	85.6%	100%	2.1%	8.4%	5.9%
medico	6802	13503	20305	33.5%	66.5%	100%	9.3%	12.2%	11.0%
politico-sociale	7500	13990	21490	34.9%	65.1%	100%	10.2%	12.6%	11.6%
psicologico	1677	8677	10354	16.2%	83.8%	100%	2.3%	7.8%	5.6%
scientifico	3680	1896	5576	66.0%	34.0%	100%	5.0%	1.7%	3.0%
<b>Totale</b>	<b>73490</b>	<b>110990</b>	<b>184480</b>	<b>39.8%</b>	<b>60.2%</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>

Elaborazione su dati Almalaurea -XV Indagine (2013) - Condizione occupazionale dei laureati

## Analisi delle relazioni di una distribuzione doppia con caratteri di natura qualsiasi

Data la distribuzione congiunta di due caratteri di natura qualsiasi, i quesiti a cui la statistica deve rispondere sono

- ✓ esiste **dipendenza** o **indipendenza** fra i due caratteri?
- ✓ se esiste dipendenza, come sono associate le modalità dei due caratteri?

## Analisi delle relazioni di una distribuzione doppia con caratteri di natura qualsiasi: indipendenza

*Su un collettivo di 180 studenti della d'Annunzio, distinti per sesso, è stata rilevata la frequenza con cui accedono al servizio mensa*

Indipendenza

	Frequenza della mensa			
<b>Sesso</b>	Raramente	A volte	Spesso	<b>Totale</b>
Maschio	10	20	30	60
Femmina	20	40	60	120
<b>Totale</b>	30	60	90	180

	Frequenza della mensa			
<b>Sesso</b>	Raramente	A volte	Spesso	<b>Totale</b>
Maschio	16.7%	33.3%	50.0%	100%
Femmina	16.7%	33.3%	50.0%	100%
<b>Totale</b>	16.7%	33.3%	50.0%	100%

*La frequenza con cui accede al servizio mensa dipende dal sesso dello studente?*

Dalla tabella delle percentuali sul totale di riga si vede come per ogni modalità di frequenza del servizio mensa le percentuali di maschi e di femmine sono uguali:  
la frequenza non dipende dal sesso dello studente



## Analisi delle relazioni di una distribuzione doppia con caratteri di natura qualsiasi: dipendenza perfetta

*Su un collettivo di 150 lavoratori viene registrato il titolo di studio e la qualifica professionale all'interno dell'azienda*

Dipendenza perfetta				
	Qualifica professionale			
<b>Titolo di studio</b>	Bassa	Media	Alta	<b>Totale</b>
Licenza elementare	10	0	0	10
Licenza media	20	0	0	20
Diploma	0	70	0	70
Laurea	0	0	50	50
<b>Totale</b>	30	70	50	150

***La qualifica professionale dipende dal titolo di studio?***

Si registra una dipendenza perfetta della qualifica professionale dal titolo di studio

Un carattere Y dipende perfettamente da X quando ad ogni modalità di X è associata una sola modalità di Y. Non è un relazione bidirezionale.

## Analisi delle relazioni di una distribuzione doppia con caratteri di natura qualsiasi: interdipendenza perfetta

*Su un collettivo di 45 dipendenti di un'azienda si rileva la categoria professionale e la classe retributiva*

Interdipendenza perfetta

Categoria	Classe retributiva			Totale
	25000-28000	28000-33500	33500-45000	
Operatore	25	0	0	<b>25</b>
Collaboratore	0	15	0	<b>15</b>
Funzionario	0	0	5	<b>5</b>
Totale	<b>25</b>	<b>15</b>	<b>5</b>	<b>45</b>

Il livello retributivo dipende dalla categoria professionale?

Si registra una interdipendenza perfetta

Tra due caratteri sussiste interdipendenza perfetta se ad ogni modalità di uno dei due caratteri corrisponde una e una sola modalità dell'altro carattere e viceversa

È una relazione bidirezionale.

## Analisi delle relazioni di una distribuzione doppia con caratteri di natura qualsiasi: dipendenza

valori assoluti

Gruppo di lauree	<i>Lavora</i>	<i>Non lavora ma cerca</i>	<i>Impegnato in corso universitario/ praticantato</i>	<i>Non lavora e non cerca e non è impegnato</i>	<i>Totale</i>
agrario	1767	1111	645	143	<b>3666</b>
architettura	4496	2650	2085	335	<b>9566</b>
chimico-farmaceutico	2626	1361	1045	221	<b>5253</b>
economico-statistico	11412	7351	6272	668	<b>25703</b>
educazione fisica	2237	692	324	90	<b>3343</b>
geo-biologico	3037	2898	3620	336	<b>9891</b>
giuridico	2818	3647	3699	197	<b>10361</b>
ingegneria	10187	3699	7774	487	<b>22147</b>
insegnamento	6784	1996	407	274	<b>9461</b>
letterario	7160	5020	3588	691	<b>16459</b>
linguistico	5201	3359	1952	393	<b>10905</b>
medico	12467	4954	1970	914	<b>20305</b>
politico-sociale	11068	6855	2772	795	<b>21490</b>
psicologico	4255	2972	2775	352	<b>10354</b>
scientifico	2549	836	2007	184	<b>5576</b>
<b>Totale</b>	<b>88064</b>	<b>49401</b>	<b>40935</b>	<b>6080</b>	<b>184480</b>

## Analisi delle relazioni di una distribuzione doppia con caratteri di natura qualsiasi: dipendenza

% riga

<b>Gruppo di lauree</b>	<i>Lavora</i>	<i>Non lavora ma cerca</i>	<i>Impegnato in corso universitario/ praticantato</i>	<i>Non lavora e non cerca e non è impegnato</i>	<i>Totale</i>
agrario	48.2%	30.3%	17.6%	3.9%	100%
architettura	47.0%	27.7%	21.8%	3.5%	100%
chimico-farmaceutico	50.0%	25.9%	19.9%	4.2%	100%
economico-statistico	44.4%	28.6%	24.4%	2.6%	100%
educazione fisica	<b>66.9%</b>	20.7%	9.7%	2.7%	100%
geo-biologico	30.7%	29.3%	<b>36.6%</b>	3.4%	100%
giuridico	27.2%	<b>35.2%</b>	<b>35.7%</b>	1.9%	100%
ingegneria	46.0%	16.7%	<b>35.1%</b>	2.2%	100%
insegnamento	<b>71.7%</b>	21.1%	4.3%	2.9%	100%
letterario	43.5%	30.5%	21.8%	4.2%	100%
linguistico	47.7%	30.8%	17.9%	3.6%	100%
medico	<b>61.4%</b>	24.4%	9.7%	4.5%	100%
politico-sociale	51.5%	<b>31.9%</b>	12.9%	3.7%	100%
psicologico	41.1%	28.7%	26.8%	3.4%	100%
scientifico	45.7%	15.0%	<b>36.0%</b>	3.3%	100%
<b>% condizione occupazionale</b>	<b>47.7%</b>	<b>26.8%</b>	<b>22.2%</b>	<b>3.3%</b>	<b>100%</b>

Elaborazione su dati Almalaurea -XV Indagine (2013) - Condizione occupazionale dei laureati

## Dipendenza statistica: connessione

Alla luce delle considerazioni precedenti, possiamo dare una definizione del concetto di dipendenza statistica con riferimento a una tabella di contingenza.

Il carattere  $Y$  ( $X$ ) dipende dal carattere  $X$  ( $Y$ ) se le distribuzioni condizionate normalizzate sono diverse tra loro.

All'opposto:

Si dice che il carattere  $Y$  ( $X$ ) non dipende dal carattere  $X$  ( $Y$ ) quando le distribuzioni condizionate normalizzate sono uguali tra loro.

# Frequenze congiunte in caso di indipendenza

Situazione di indipendenza

	Frequenza della mensa			Tot
	Raramente	A volte	Spesso	
M	10	20	30	60
F	20	40	60	120
Tot	30	60	90	180

	Frequenza della mensa			Totale
	Raramente	A volte	Spesso	
M	16.7%	33.3%	50.0%	100%
F	16.7%	33.3%	50.0%	100%
Tot	16.7%	33.3%	50.0%	100%

X e Y sono indipendenti se le distribuzioni delle frequenze percentuali condizionate di Y rispetto ad X sono uguali alla distribuzione percentuale marginale di Y (oppure se le distribuzioni delle frequenze percentuali condizionate di X rispetto ad Y sono uguali alla marginale di X).

Quindi nel caso di indipendenza esiste proporzionalità fra le frequenze assolute delle righe (o delle colonne).

Da tale relazione si vede come nel caso di indipendenza le frequenze congiunte possono essere espresse come

$$p_{j/x_i} = p_{0j}$$

$$\frac{n_{ij}}{n_{i0}} 100 = \frac{n_{0j}}{N} 100 \quad \forall i, j$$

$$n_{ij} : n_{i0} = n_{0j} : N \quad \forall i, j$$

$$n_{ij} = \frac{n_{i0} \cdot n_{0j}}{N} \quad \forall i, j$$

# Misura della dipendenza

L'intensità della dipendenza viene misurata come allontanamento dalla condizione di indipendenza.

Per far questo si costruisce la tabella teorica di indipendenza che presenta in ogni casella la frequenza teorica di indipendenza.

$$\hat{n}_{ij} = \frac{n_{i0} \cdot n_{0j}}{N} \quad \forall i, j$$

Per misurare la dipendenza si mette a confronto la tabella effettiva con quella teorica di indipendenza tramite le differenze

$$\text{frequenza effettiva} - \text{frequenza teorica} = n_{ij} - \hat{n}_{ij}$$

# Costruzione della tabella teorica di indipendenza

Calcolo delle frequenze teoriche.

$$\hat{n}_{ij} = \frac{n_{i0} \cdot n_{0j}}{N} \quad \forall i, j$$

$$\frac{37785 \cdot 27859}{175229}$$

Età	Grado d'istruzione				Totale
	Non ha terminato le superiori	Diploma di scuola superiore	Università da 1 a 3 anni	Università oltre i 4 anni	
da 25 a 34	6007.3				37785
da 35 a 54					81436
oltre 55					56008
<b>Totale</b>	27859	58077	44465	44828	175229

Per calcolare le frequenze teoriche si riscrive la tabella riportando solo i marginali di riga e di colonna ed il totale e poi per ogni casella si effettua il prodotto tra il totale di riga e il totale di colonna diviso per il totale generale.



# Costruzione della tabella teorica di indipendenza

Nella tabella che segue sono indicate in rosso le frequenze che si avrebbero se vi fosse indipendenza.

$$\hat{n}_{ij} = \frac{n_{i0} \cdot n_{0j}}{N} \quad \forall i, j$$

Età	Grado d'istruzione				Totale
	Non ha terminato le superiori	Diploma di scuola superiore	Università da 1 a 3 anni	Università oltre i 4 anni	
da 25 a 34	6007.3 4459	12523.3 11562	9588.1 10693	9666.4 11071	37785
da 35 a 54	12947.2 9174	26990.7 20455	20664.7 22647	20833.4 23160	81436
oltre 55	8904.5 14226	18563.0 20060	14212.2 11125	14328.3 10597	56008
<b>Totale</b>	27859	58077	44465	44828	175229

$$\frac{81436 \cdot 58077}{175229}$$

Le frequenze teoriche sono state ottenute nel modo seguente: in ogni casella si è posto il numero risultante dal prodotto tra il totale di riga e il totale di colonna diviso per il totale generale.

## Indice di associazione chi-quadrato di Pearson

$$\begin{aligned}\chi^2 &= \sum_{i=1}^s \sum_{j=1}^t \frac{(n_{ij} - n_{i0} n_{0j} / N)^2}{n_{i0} n_{0j} / N} = \\ &= \sum_{i=1}^s \sum_{j=1}^t \frac{(n_{ij} - \hat{n}_{ij})^2}{\hat{n}_{ij}}\end{aligned}$$

L'indice  $\chi^2$

- è sempre non negativo
- assume valore 0 nel caso di associazione nulla
- aumenta all'aumentare della dipendenza (o associazione dei due caratteri)
- a parità di associazione l'indice aumenta al crescere di  $N$  (quindi dipende da  $N$ )

# Misura della dipendenza: calcolo dell'indice

$\chi^2$

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^s \sum_{j=1}^t \frac{(n_{ij} - \hat{n}_{ij})^2}{\hat{n}_{ij}}$$

Età	Grado d'istruzione				Totale
	Non ha terminato le superiori	Diploma di scuola superiore	Università da 1 a 3 anni	Università oltre i 4 anni	
da 25 a 34	<b>6007.3</b> 4459	<b>12523.3</b> 11562	<b>9588.1</b> 10693	<b>9666.4</b> 11071	37785
da 35 a 54	<b>12947.2</b> 9174	<b>26990.7</b> 26455	<b>20664.7</b> 22647	<b>20833.4</b> 23160	81436
oltre 55	<b>8904.5</b> 14226	<b>18563.0</b> 20060	<b>14212.2</b> 11125	<b>14328.3</b> 10597	56008
<b>Total e</b>	<b>27859</b>	<b>58077</b>	<b>44465</b>	<b>44828</b>	<b>175229</b>

$$\begin{aligned} \chi^2 &= \frac{(4459 - 6007.3)^2}{6007.3} + \\ &+ \frac{(11562 - 12523.3)^2}{12523.3} + \dots + \\ &+ \frac{(10597 - 14328.3)^2}{14328.3} = \\ &= 7307.8 \end{aligned}$$

Età	Grado d'istruzione			
	Non ha terminato le superiori	Diploma di scuola superiore	Università da 1 a 3 anni	Università oltre i 4 anni
da 25 a 34	399.1	73.8	127.3	204.1
da 35 a 54	1099.6	10.6	190.2	259.8
oltre 55	3180.2	120.7	670.6	971.7

$$\frac{(n_{ij} - \hat{n}_{ij})^2}{\hat{n}_{ij}}$$

Totale=7307.8

## Indice di associazione quadratica media

Siccome l'indice  $\chi^2$  dipende da N, per eliminare l'influenza della numerosità delle osservazioni si può calcolare l'indice di associazione quadratica media

$$\psi = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^s \sum_{j=1}^t \frac{(n_{ij} - \hat{n}_{ij})^2}{\hat{n}_{ij}}} = \sqrt{\frac{\chi^2}{N}}$$

➤ Nell'esempio precedente si ha

$$\psi = \sqrt{\frac{\chi^2}{N}} = \sqrt{\frac{7307.8}{175229}} = 0.2$$

## Indici di associazione relativi

L'indice  $\psi$ , e l'indice  $\chi^2$ , vanno rapportati al massimo che possono assumere per poter esprimere un giudizio sul **grado di dipendenza**.

Si può dimostrare che il massimo di  $\psi$  è pari a

$$\max(\psi) = \sqrt{\min(s-1, t-1)}$$

Il massimo di  $\chi^2$  è

$$\max(\chi^2) = N \cdot \min(s-1, t-1)$$

Nella [tabella di interdipendenza perfetta](#) (dove si deve avere  $s=t$ ) si ottiene il valore massimo

## Interdipendenza perfetta: un esempio

X	Y				Tot
	y <sub>1</sub>	y <sub>2</sub>	y <sub>3</sub>	y <sub>4</sub>	
x <sub>1</sub>	45	0	0	0	45
	10.4	4.6	8.6	21.3	
x <sub>2</sub>	0	20	0	0	20
	4.6	2.1	3.8	9.5	
x <sub>3</sub>	0	0	0	92	92
	21.3	9.5	17.5	43.6	
x <sub>4</sub>	0	0	37	0	37
	8.6	3.8	7.1	17.5	
Tot	45	20	37	92	194

X	Y				Totale
	y <sub>1</sub>	y <sub>2</sub>	y <sub>3</sub>	y <sub>4</sub>	
x <sub>1</sub>	10.4	4.7	8.6	21.3	
x <sub>2</sub>	4.7	156.1	3.8	9.5	
x <sub>3</sub>	21.3	9.5	17.5	53.6	
x <sub>4</sub>	8.6	3.8	127.1	17.5	
Totale	582				582

$$\max(\chi^2) = N \cdot \min(s-1, t-1)$$

$$\max(\psi) = \sqrt{\min(s-1, t-1)}$$

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^s \sum_{j=1}^t \frac{(n_{ij} - \hat{n}_{ij})^2}{\hat{n}_{ij}} =$$

$$= 582$$

$$\psi = \sqrt{\frac{\chi^2}{N}} = \sqrt{\frac{582}{194}} = \sqrt{3}$$

$$\max(\chi^2) = N \min(s-1, t-1) = 194 \cdot \min(4-1, 4-1) = 194 \cdot 3 = 582$$

$$\max(\psi) = \sqrt{\min(s-1, t-1)} = \sqrt{\min(4-1, 4-1)} = \sqrt{3}$$

# Indice simmetrico di connessione

Un indice normalizzato di connessione è l'**indice di Cramér**

$$C = \frac{\psi}{\sqrt{\min[(s-1), (t-1)]}}$$

dove  $\min[(s-1), (t-1)]$  indica il minimo tra le due quantità tra parentesi quadra.

L'indice C

- è sempre compreso tra 0 e 1

vale 0 nel caso di indipendenza

vale 1 se

i due caratteri sono perfettamente associati

e  $s=t$

$X$  dipende perfettamente da  $Y$  e  $s < t$

$Y$  dipende perfettamente da  $X$  e  $s > t$

## Misura normalizzata di dipendenza unilaterale

Se si considera la variabile Y come logicamente dipendente si può considerare una dipendenza unilaterale e rapportare l'indice  $\psi$  al suo massimo, ottenendo l'indice normalizzato di dipendenza di Y da X

$$C_y = \frac{\psi}{\sqrt{t-1}}$$

Analogamente, se si considera la variabile X come logicamente dipendente si può considerare una dipendenza unilaterale e rapportare l'indice  $\psi$  al suo massimo, ottenendo l'indice normalizzato di dipendenza di X da Y

$$C_x = \frac{\psi}{\sqrt{s-1}}$$



# Misura normalizzata di dipendenza : esempio

Calcolo dell'indice  $C_Y$  per la tabella di contingenza

	Grado d'istruzione				Totale
	Non ha terminato le superiori	Diploma di scuola superiore	Università da 1 a 3 anni	Università oltre i 4 anni	
da 25 a 34	4459	11562	10693	11071	37785
da 35 a 54	9174	26455	22647	23160	81436
oltre 55	14226	20060	11125	10597	56008
Totale	27859	58077	44465	44828	175229

$$\psi = 0.20$$

$$C_Y = \frac{0.20}{\sqrt{3}} = 0.12$$

Non si ha una forte dipendenza di Y da X

$$\max(\psi) = \sqrt{t-1} = \sqrt{3}$$

## Interpretazione dell'associazione

Se non c'è indipendenza, per veder come si associano le modalità dei due caratteri si possono confrontare le frequenze osservate con le frequenze teoriche.

Età	Grado d'istruzione			
	Non ha terminato le superiori	Diploma di scuola superiore	Università da 1 a 3 anni	Università oltre i 4 anni
da 25 a 34	Neg. <b>6007.3</b> 4459	Neg. <b>12523.3</b> 11562	Pos. <b>9588.1</b> 10693	Pos. <b>9666.4</b> 11071
da 35 a 54	Neg. <b>12947.2</b> 9174	Neg. <b>26990.7</b> 26455	Pos. <b>20664.7</b> 22647	Pos. <b>20833.4</b> 23160
oltre 55	Pos. <b>8904.5</b> 14226	Pos. <b>18563.0</b> 20060	Neg. <b>14212.2</b> 11125	Neg. <b>14328.3</b> 10597

$n_{ij} > \hat{n}_{ij}$  Associazione positiva fra le modalità  $x_i$  e  $y_j$

$n_{ij} < \hat{n}_{ij}$  Associazione negativa fra le modalità  $x_i$  e  $y_j$

## Interpretazione dell'associazione: esempio

Inclinazione politica	<i>Livello di accordo con l'affermazione: È molto importante per me essere Italiano</i>				Totale
	<i>per nulla d'accordo</i>	<i>poco d'accordo</i>	<i>abbastanza d'accordo</i>	<i>molto d'accordo</i>	
sinistra	Pos. 59 37.5	Pos. 110 84.5	Pos. 51 64.6	14 47.4	234
centro	22 39.4	77 88.8	84 68.0	Pos. 63 49.8	246
destra	6 10.1	9 22.7	15 17.4	Pos. 33 12.8	63
<b>Totale</b>	<b>87</b>	<b>196</b>	<b>150</b>	<b>110</b>	<b>543</b>

## Interpretazione dell'associazione: esempio

	<i>Livello di accordo con l'affermazione:</i> <b>È molto importante per me essere Italiano</b>					
Inclinazione politica	<i>per nulla d'accordo</i>	<i>poco d'accordo</i>	<i>abbastanza d'accordo</i>	<i>molto d'accordo</i>		Totale
sinistra	25.2%	47.0%	21.8%	6.0%		100%
centro	8.9%	31.3%	34.1%	25.6%		100%
destra	9.5%	14.3%	23.8%	52.4%		100%
Distribuzione % del livello di accordo	16.0%	36.1%	27.6%	20.3%		100%