

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI FIRENZE

CURRICULUM DATA SCIENCE

DATA MINING AND ORGANISATION

**Analisi carriere studenti iscritti al
I anno del corso di laurea in
Informatica**

Studenti

TOMMASO CECCARINI

tommaso.ceccarini1@stud.unifi.it

FILIPPO MAMELI

filippo.mameli@stud.unifi.it

24 luglio 2018

Indice

| | | |
|----------|---|-----------|
| 1 | Descrizione dati iniziali | 3 |
| 2 | Gestione dei dati | 3 |
| 3 | Analisi dei dati | 5 |
| 4 | Clustering | 9 |
| 5 | Valutazione del clustering e model selection | 16 |
| 6 | Conclusioni | 30 |

1 Descrizione dati iniziali

Il dataset che abbiamo analizzato contiene dati sulle carriere accademiche degli studenti del corso di laurea di informatica dell'università degli studi di Firenze e il loro voto conseguito al test di ingresso. In particolare, le informazioni presenti sono:

- Coorte: Anno di immatricolazione
- Crediti totali: Numero crediti complessivi dello studente
- Crediti con voto: Numero di crediti assegnati allo studente per esami con votazione in trentesimi (tutti tranne Inglese)
- Voto medio: Media pesata dei voti degli esami sostenuti

In seguito ci sono sei coppie di attributi che indicano:

- Nome dell'esame
- Data in cui lo studente ha sostenuto l'esame

Gli esami sono Algoritmi e strutture dati (ASD), Programmazione (PRG), Architetture degli elaboratori (ARC), Analisi I (ANI), Matematica discreta e logica (MDL) e Inglese.

- Punteggio conseguito al test di ingresso.

Per quanto riguarda gli attributi relativi ai voti degli esami i valori che questi assumono sono: il voto conseguito dallo studente nel caso in cui abbia sostenuto l'esame oppure zero se lo studente non ha sostenuto l'esame durante la sessione estiva del proprio anno di immatricolazione.

2 Gestione dei dati

Abbiamo deciso di effettuare le seguenti operazioni sul dataset:

- eliminazione degli studenti che hanno sostenuto solo inglese
- riportare tutti gli attributi relativi alle date degli esami nel formato YYYY-MM-DD

Il motivo per cui abbiamo deciso di eseguire l'operazione del primo punto è che gli studenti in questione non avendo voti in trentesimi non ci sono parsi particolarmente significativi per analisi.

Per quanto riguarda il secondo punto invece, nel caso in cui uno studente non avesse sostenuto un particolare esame, erano presenti valori pari a zero in alcuni casi e valori pari a "0000-00-00" in altri. Abbiamo quindi deciso di trattare questa incosistenza dei dati ponendo i valori pari a "0000-00-00".

Per effettuare queste due operazioni abbiamo importato il dataset in un database creando per prima una tabella, che è stata popolata in seguito importando il file CSV con i comandi riportati in Codice 1.

```
1 CREATE TABLE 'studenti' (  
    'coorte' int(11),  
3    'crediti_totali' int(11),  
    'crediti_con_voto' int(11),  
5    'voto_medio' int(11),  
    'ASD' int(11),  
7    'data_ASD' text,  
    'ARC' int(11),  
9    'data_ARC' text,  
    'PRG' int(11),  
11   'data_PRG' text,  
    'ANI' int(11),  
13   'data_ANI' text,  
    'MDL' int(11),  
15   'data_MDL' text,  
    'INGLESE' int(11),  
17   'data_INGLESE' text,  
    'TEST' int(11)  
19 ) ENGINE=InnoDB  
  
21 LOAD DATA INFILE 'studenti.csv' INTO TABLE studenti  
    FIELDS TERMINATED BY ',' ENCLOSED BY '"'  
23    LINES TERMINATED BY '\r\n'  
    IGNORE 1 LINES;
```

Codice 1: Creazione della table

Per quanto riguarda la gestione dell'incosistenza relativa alle date degli esami abbiamo risolto il problema specificando le query ripotate nel Codice 2.

```

update dmo.studenti set data_ARC = '0000-00-00' where data_ARC='0';
2 update dmo.studenti set data_ASD = '0000-00-00' where data_ASD='0';
update dmo.studenti set data_PRG = '0000-00-00' where data_PRG='0';
4 update dmo.studenti set data_ANI = '0000-00-00' where data_ANI='0';
update dmo.studenti set data_MDL = '0000-00-00' where data_MDL='0';
6 update dmo.studenti set data_INGLESE = '0000-00-00' where
data_INGLESE = '0';

```

Codice 2: Update della tabella

3 Analisi dei dati

Per analizzare i dati a disposizione abbiamo utilizzato il linguaggio R per determinare la correlazione tra i diversi attributi. In Tabella 1 sono riportati i valori di correlazione.

| | coorte | crediti totali | crediti con voto | voto medio | ASD | ARC | PRG | ANI | MDL | ING | TEST |
|------------------|---------|----------------|------------------|------------|---------|----------|---------|---------|----------|-----|---------|
| coorte | 1 | 0.013343 | 0.01821 | 0.03655 | 0.03581 | -0.01609 | -0.0822 | 0.13386 | -0.04033 | NA | 0.04126 |
| crediti_totali | 0.01334 | 1 | 0.99522 | 0.44571 | 0.52984 | 0.72508 | 0.69882 | 0.61015 | 0.62789 | NA | 0.38433 |
| crediti_con_voto | 0.01821 | 0.99522 | 1 | 0.44838 | 0.52957 | 0.71955 | 0.70879 | 0.61593 | 0.62654 | NA | 0.39025 |
| voto_medio | 0.03655 | 0.44571 | 0.44838 | 1 | 0.36900 | 0.36427 | 0.43085 | 0.39777 | 0.31828 | NA | 0.39428 |
| ASD | 0.03581 | 0.52984 | 0.52957 | 0.36900 | 1 | 0.29321 | 0.31192 | 0.10116 | 0.23775 | NA | 0.16149 |
| ARC | -0.0160 | 0.72508 | 0.71955 | 0.36427 | 0.29321 | 1 | 0.43166 | 0.27541 | 0.39622 | NA | 0.29979 |
| PRG | -0.0822 | 0.69882 | 0.70879 | 0.43085 | 0.31192 | 0.43166 | 1 | 0.19585 | 0.27295 | NA | 0.24356 |
| ANI | 0.13386 | 0.61015 | 0.61593 | 0.39777 | 0.10116 | 0.27541 | 0.19585 | 1 | 0.36333 | NA | 0.32378 |
| MDL | -0.0403 | 0.62789 | 0.62654 | 0.31828 | 0.23775 | 0.39622 | 0.27295 | 0.36333 | 1 | NA | 0.38777 |
| ING | NA | NA | NA | NA | NA | NA | NA | NA | NA | 1 | NA |
| TEST | 0.04126 | 0.384332 | 0.39025 | 0.39428 | 0.16149 | 0.29979 | 0.2435 | 0.32378 | 0.38777 | NA | 1 |

Tabella 1: Correlazione

Come è possibile notare dalla tabella, ci sono alcune ovvie correlazioni, come quella che coinvolge l'attributo crediti totali e crediti con voto. Per quanto riguarda l'attributo coorte si può notare come questo abbia una scarsa correlazione con tutti gli altri attributi.

Le correlazioni più evidenti e significative sono quelle che coinvolgono l'attributo crediti totali (e quindi anche crediti con voto) con il voto che gli studenti hanno ottenuto nei diversi esami sostenuti. Infatti il valore di queste correlazioni è compreso tra 0.53 per quanto riguarda l'attributo

di crediti totali e quello di Algoritmi e strutture dati e 0.73 per quanto riguarda Crediti totali e il voto di Architetture degli elaboratori. Tale risultato può essere interpretato in maniera abbastanza intuitiva, infatti mostra che se uno studente ha sostenuto più esami (e quindi ha più crediti) ha in generale ottenuto dei voti migliori.

Nelle figure sono riportati gli scatterplot degli attributi relativi a crediti totali con i voti di Architetture degli elaboratori e Algoritmi e strutture dati.

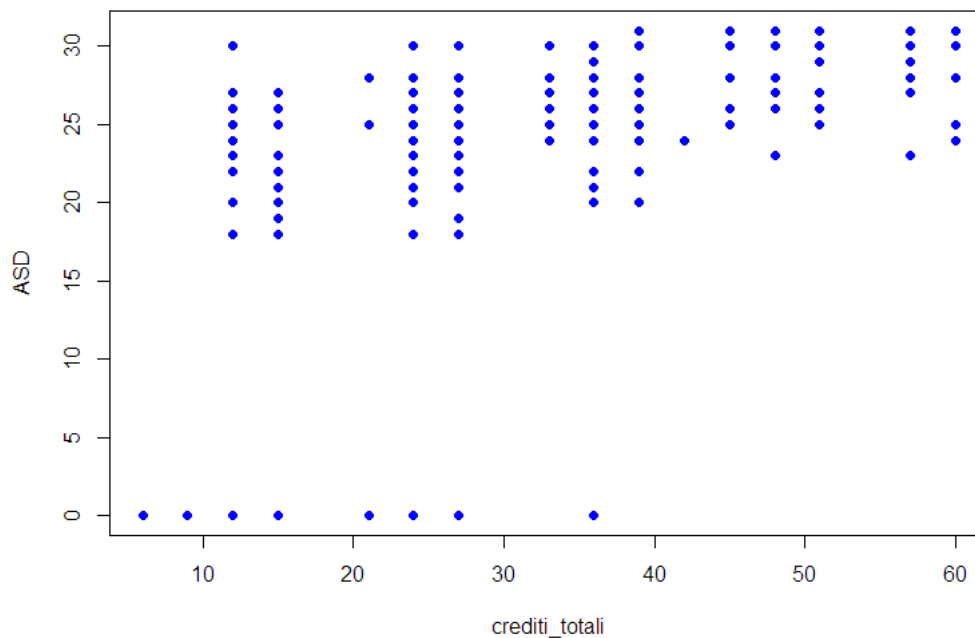


Figura 1: Scatterplot tra Crediti totali e Algoritmi e strutture dati

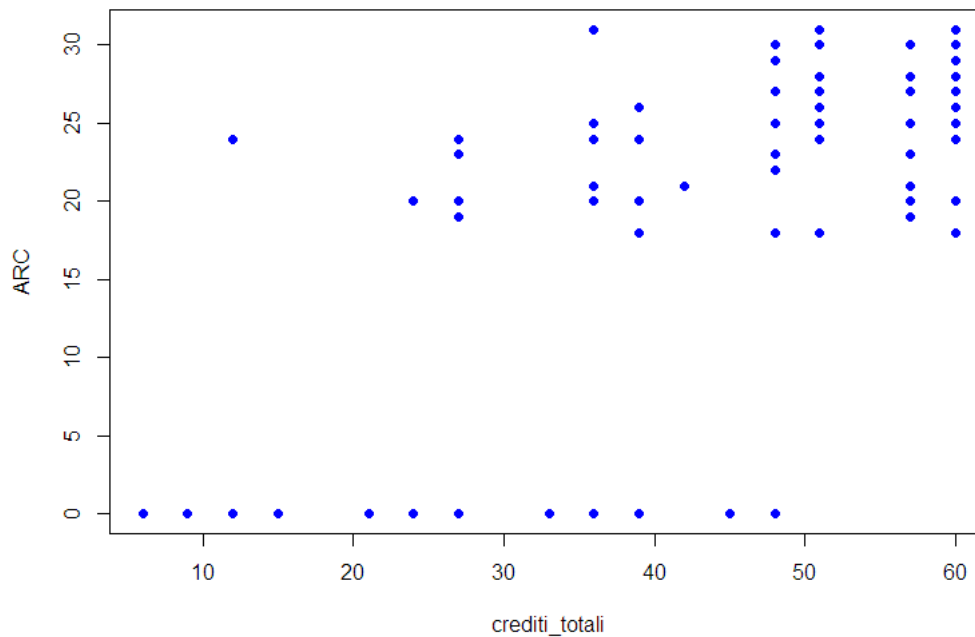


Figura 2: Scatterplot tra Crediti totali e Architetture degli elaboratori

L'attributo test è correlato maggiormente con l'attributo voto medio. Si può notare inoltre che il valore di correlazione è significativamente più alto di quello che l'attributo test ha con i voti dei singoli esami, con l'unica eccezione di MDL. Questi valori lasciano suggerire che il punteggio conseguito al test d'ingresso di ogni studente sia un buon parametro per valutarne l'andamento generale piuttosto che i voti di un singolo esame. Inoltre l'attributo test mostra una discreta correlazione con i crediti totali (e quindi anche con i crediti con voto).

Per quanto riguarda le correlazioni tra i voti dei diversi esami è possibile notare che il valore più alto è quello tra Architetture degli elaboratori e Programmazione che è circa pari a 0.43. Mentre si ha una correlazione quasi nulla, ossia circa 0.10, tra il voto di Algoritmi e strutture dati e il voto di Analisi 1.

Nelle figure sono riportati gli scatterplot tra Architetture degli elaboratori e Programmazione e tra Algoritmi e strutture dati e Analisi I.

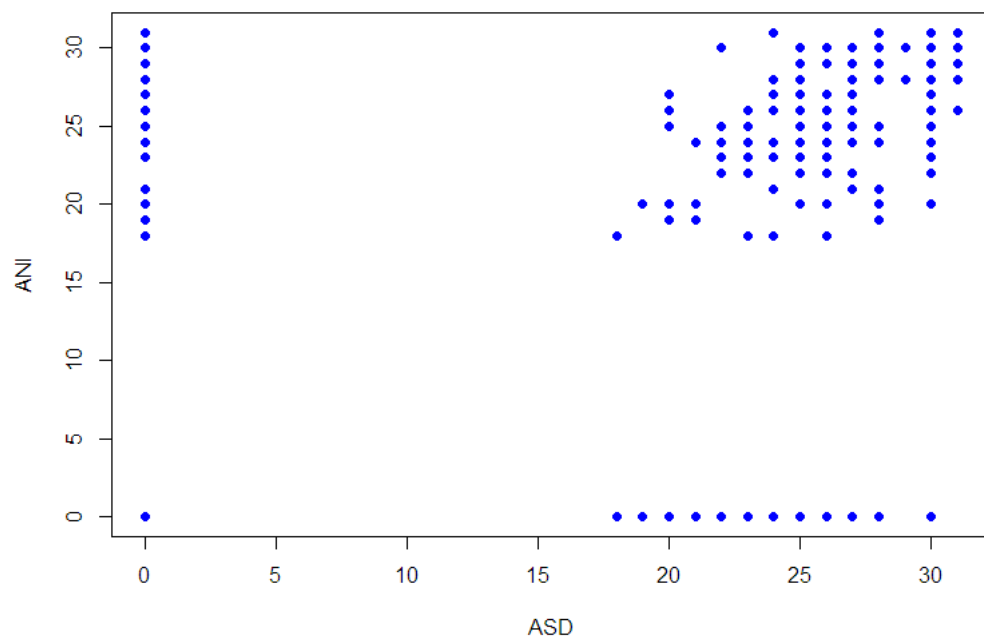
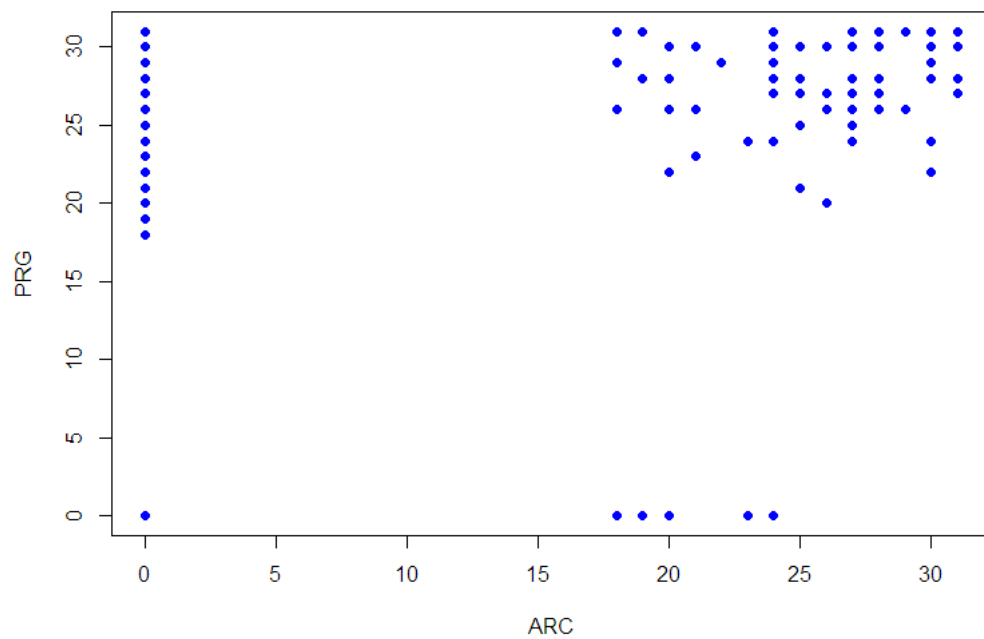


Figura 3: Scatterplot tra Architetture degli elaboratori e Programmazione e tra Algoritmi e strutture dati e Analisi I

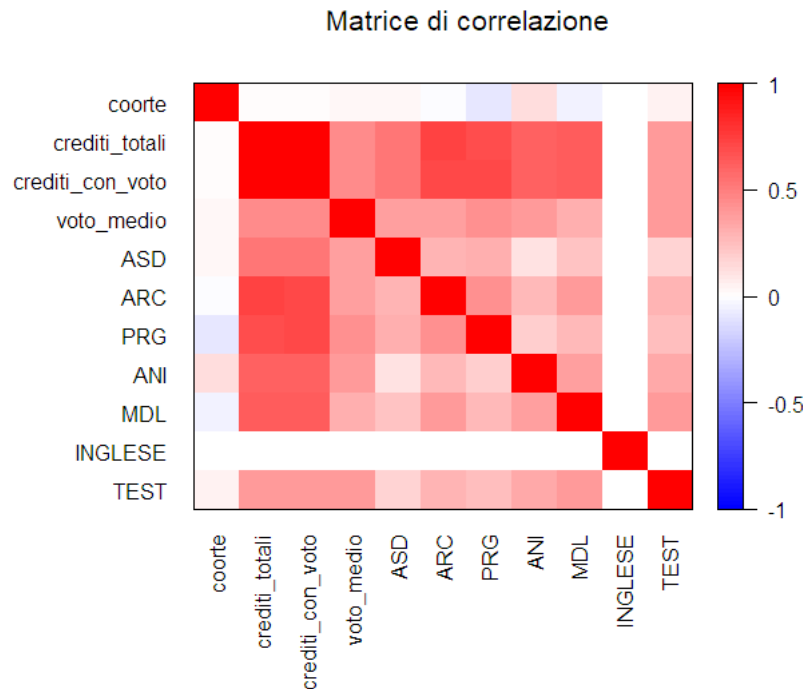


Figura 4: Matrice di correlazione

In Figura 4 viene riportata la matrice di correlazione. Per applicare gli algoritmi di clustering è stato utilizzato il software Weka. Tuttavia prima di applicare tali algoritmi è stata necessaria un'ulteriore fase di preprocessing nella quale sono stati normalizzati tutti gli attributi del dataset in una scala di valori compresi tra zero e uno in modo da evitare problemi dovuti alle diverse scale di valori degli attributi.

4 Clustering

In questo Capitolo verranno effettuate alcune analisi di clustering sui seguenti attributi:

- crediti totali, architetture, programmazione;
- algoritmi e strutture dati, architetture, programmazione, analisi 1 e matematica discreta e logica;

- voto medio e test.

Le tecniche di clustering utilizzate sono il clustering gerarchico, l'algoritmo di Kmeans e infine l'algoritmo DBSCAN. In particolare:

- l'analisi effettuata con tecniche di clustering gerarchico è stata effettuata su un sottoinsieme dei dati a disposizione selezionato in base alla coorte dello studente;
- nel caso dell'algoritmo di Kmeans viene stabilito preventivamente il numero dei cluster possibili utilizzando valori ritenuti sensati di volta in volta;
- l'algoritmo DBSCAN è stato utilizzato per l'analisi relativa ai voti dei diversi esami scegliendo preventivamente i valori di MinPts e eps ritenuti sensati di volta in volta.

A eccezione fatta dell'algoritmo di DBSCAN tutte le analisi condotte sono state effettuate procedendo preventivamente alla normalizzazione degli attributi coinvolti. Per la valutazione dei risultati ottenuti si rimanda al Capitolo 5 dove viene analizzata la validità dei risultati ottenuti e viene determinato: numero di cluster ottimali per l'algoritmo di Kmeans e valore di eps ottimale per DBSCAN. Come prima analisi viene mostrata quella relativa ai tre attributi del dataset maggiormente correlati (a meno di correlazioni ovvie) ossia crediti totali, architetture e programmazione. Infatti come è stato già precedentemente detto c'è una forte correlazione tra i crediti totali e architetture pari a 0.73 mentre tra crediti totali e Programmazione pari a 0.70. È stato utilizzato l'algoritmo di Kmeans implementato in Weka specificando inizialmente un numero di cluster pari a due, lasciando i valori di default per la generazione dei centroidi. In Tabella 2 sono riportate le coordinate dei centroidi relativi all'esecuzione dell'algoritmo con un valore di k pari a 2. Come si può notare dalle coordinate

| | Crediti totali | ARC | PRG | Istanze |
|---|----------------|------|------|------------|
| 0 | 0.65 | 0.32 | 0.85 | 183 (58%) |
| 1 | 0.27 | 0.05 | 0 | 133 (42%) |

Tabella 2: Cluster con ARC e PRG con k = 2 SSE 51.35

dei centroidi questa prima esecuzione dell'algoritmo suddivide il dataset in due gruppi piuttosto distinti. Il valore della somma degli errori al quadrato (SSE) in questa esecuzione è risultata pari a 51.35. In Tabella 3 sono riportate le coordinate dei centroidi relativi all'esecuzione dell'algoritmo con un valore di k pari a 3. In questo caso il valore di SSE è pari a 14.85.

| | Crediti totali | ARC | PRG | Istanze |
|---|----------------|------|------|------------|
| 0 | 0.88 | 0.82 | 0.89 | 73 (23%) |
| 1 | 0.27 | 0.05 | 0 | 133 (42%) |
| 2 | 0.50 | 0 | 0.81 | 110 (35%) |

Tabella 3: Cluster con ARC e PRG con $k = 3$ SSE 14.85

È inoltre possibile constatare come l'algoritmo di kmeans abbia messo in evidenza tre tipologie ben distinte di studenti:

- Gli studenti appartenenti al cluster 0 sono gli studenti "migliori" avendo sostenuto la quasi totalità degli esami del primo anno alla fine della sessione estiva e riportando delle ottime valutazioni per quanto riguarda gli esami di Architetture e di Programmazione;
- La seconda categoria di studenti (cluster 1) sono gli studenti "peggiori" che hanno sostenuto pochi esami e nel caso specifico delle materie considerate hanno conseguito valutazioni basse o non hanno sostenuto l'esame;
- Infine gli studenti appartenenti all'ultimo cluster sono gli studenti che hanno sostenuto Programmazione con un buon voto ma non hanno fatto l'esame di Architetture.

Come si evince analizzando i tre cluster in particolare notando le diverse combinazioni dei valori assunti dai centroidi dei voti, si capisce come sia assente la categoria di studenti che ha sostenuto con profitto l'esame di architetture, ma non ha sostenuto l'esame di programmazione, lasciando quindi intendere che se uno studente ha sostenuto l'esame di architetture allora generalmente ha sostenuto con una buona valutazione l'esame di programmazione.

La seconda analisi che è stata condotta è quella relativa ai voti conseguiti dagli studenti del primo anno durante la sessione estiva. In questo

caso l'algoritmo di K-means è stato inizializzato con un valore di $k = 3$. In Tabella 4 sono riportate le coordinate dei centroidi al termine dell'algoritmo. In questo caso sono quindi stati determinati i profili di tre diversi

| | ASD | ARC | PRG | ANI | MDL | Istanze |
|---|------|------|------|------|------|------------|
| 0 | 0.73 | 0.05 | 0.81 | 0.43 | 0.02 | 100 (32%) |
| 1 | 0.65 | 0.05 | 0 | 0.50 | 0.12 | 133 (42%) |
| 2 | 0.91 | 0.65 | 0.89 | 0.88 | 0.60 | 83 (26%) |

Tabella 4: Cluster di tutti i voti con $k = 3$ SSE 106.19

gruppi di studenti:

- gli studenti che hanno conseguito una buona votazione negli esami di Algoritmi e Strutture Dati e Programmazione, una votazione discreta all'esame di Analisi I e che non hanno sostenuto Matematica discreta e Logica e Architetture degli elaboratori;
- gli studenti con le stesse caratteristiche del cluster precedente, ma che hanno sostenuto Programmazione
- gli studenti che hanno sostenuto tutti gli esami e con un buona votazione.

In Figura 5 è riportato lo scatter plot relativo ai voti di Architetture degli Elaboratori e Programmazione che sono maggiormente correlati. Il valore del SSE in questo caso è pari a 106.19. Come è stato specificato all'inizio del Capitolo, in questo caso è stato utilizzato anche l'algoritmo DBSCAN per effettuare il clustering degli attributi scelti. Inoltre, poiché gli attributi scelti per l'analisi in questo caso hanno valori scelti nello stesso intervallo $[0, 31]$ non è stato necessario procedere alla normalizzazione. Quindi, analogamente a quanto fatto con l'algoritmo di K-means, i parametri con cui eseguire l'algoritmo sono stati scelti basandosi sull'intuizione e sulla conoscenza del problema. Per la valutazione dei risultati ottenuti e la scelta del valore ottimale di ϵ in funzione di MinPts si rimanda al Capitolo 5. In Tabella 5 sono riportati i cluster ottenuti e la proporzione di istanze al loro interno eseguendo l'algoritmo DBSCAN con $\text{MinPts}=6$ e $\epsilon=0.5$. In questo caso 38 record dei 316 totali sono stati marcati come rumore dall'algoritmo. In Tabella 6 sono riportati i medesimi risultati eseguendo l'algoritmo DBSCAN con $\text{MinPts}=10$ e $\epsilon=0.4$. In questo caso, i record marcati

come rumore dall'algoritmo sono invece 44. Infine, la Tabella 7 riporta i risultati ottenuti per l'esecuzione dell'algoritmo DBSCAN con $\text{MinPts}=20$ e $\text{eps}=0.4$. Tuttavia, quest'ultima esecuzione dell'algoritmo ha portato a un notevole incremento di dati marcati come rumore. Infatti, in questo caso, ben 89 dei 316 record totali sono stati esclusi dal clustering.

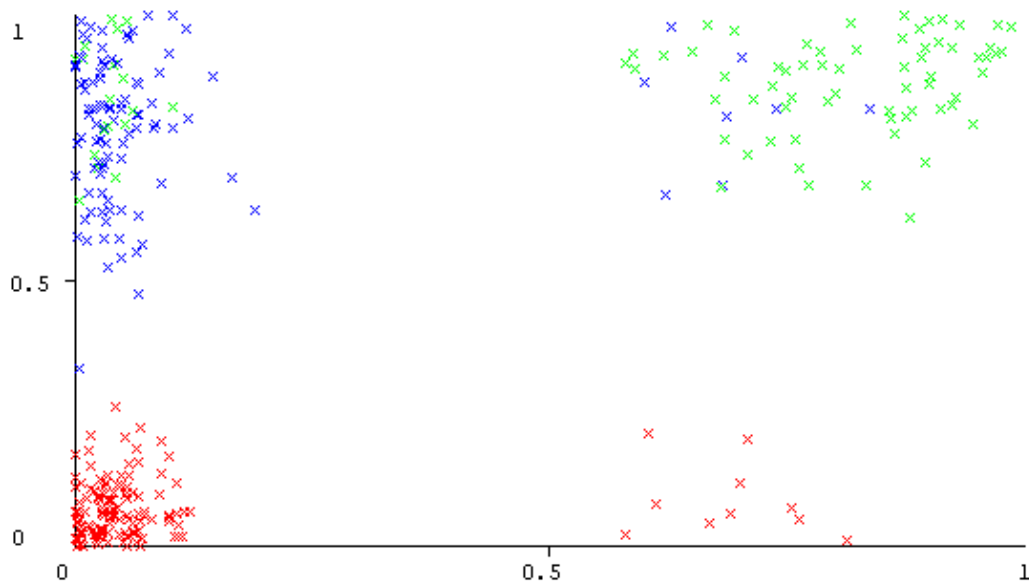


Figura 5: Scatter plot relativo ai cluster dei voti di Architetture degli Elaboratori e Programmazione

| | Istanze |
|---|----------|
| 0 | 40 (14%) |
| 1 | 46 (17%) |
| 2 | 41 (15%) |
| 3 | 13 (5%) |
| 4 | 45 (16%) |
| 5 | 33 (12%) |
| 6 | 6 (2%) |
| 7 | 18 (6%) |
| 8 | 22 (8%) |
| 9 | 14 (5%) |

Tabella 5: Cluster ottenuti con DBSCAN eseguito con MinPts=6 e $\text{eps}=0.5$.

| | Istanze |
|---|----------|
| 0 | 40 (15%) |
| 1 | 46 (17%) |
| 2 | 41 (15%) |
| 3 | 13 (5%) |
| 4 | 45 (17%) |
| 5 | 33 (12%) |
| 6 | 18 (7%) |
| 7 | 22 (8%) |
| 8 | 14 (5%) |

Tabella 6: Cluster ottenuti con DBSCAN eseguito con MinPts=10 e $\text{eps}=0.4$.

| | Istanze |
|---|----------|
| 0 | 40 (18%) |
| 1 | 46 (20%) |
| 2 | 41 (18%) |
| 3 | 45 (20%) |
| 4 | 33 (15%) |
| 5 | 22 (10%) |

Tabella 7: Cluster ottenuti con DBSCAN eseguito con MinPts=20 e eps=0.4.

Infine, l'ultima analisi che è stata condotta riguarda gli attributi test e voto medio. E' stato scelto di analizzare questi due attributi congiuntamente in quanto, come è stato detto nel capitolo precedente, l'attributo voto medio presenta una buona correlazione con l'attributo test. In Tabella 8 sono riportate le coordinate dei centroidi relativi all'esecuzione dell'algoritmo con un numero di cluster pari a 3. In questo caso è possibile

| | voto medio | Test | Istanze |
|---|------------|------|------------|
| 0 | 0.36 | 0.41 | 85 (27%) |
| 1 | 0.75 | 0.66 | 146 (42%) |
| 2 | 0.45 | 0.67 | 85 (27%) |

Tabella 8: Cluster con Voto_medio e Test con k = 3 SSE 9.6

notare come l'algoritmo di K-means determini due cluster ben definiti che suddividono il dataset tra gli studenti che hanno una media complessiva maggiore e un voto al test d'ingresso alto e quelli che invece hanno una media più bassa e hanno conseguito punteggio basso al test di ingresso. Questi gruppi determinati sono coerenti con la correlazione che esiste tra i due attributi che tuttavia non è particolarmente elevata (diversamente dagli attributi presi in considerazione nell'analisi precedente). Infatti, oltre ai primi due cluster che identificano gli studenti "migliori" e quelli "peggiori" esiste un terzo cluster di studenti che hanno conseguito un punteggio al test d'ingresso decisamente positivo, ma non hanno mantenuto una media dei voti altrettanto buona. Il valore del SSE in questo caso è 9.6.

5 Valutazione del clustering e model selection

In questo Capitolo vengono presi in considerazione alcuni metodi per scegliere i parametri con cui inizializzare gli algoritmi di K-means e DBSCAN e vengono analizzati i risultati ottenuti nel Capitolo 4. Nel Capitolo precedente, infatti, l'algoritmo di K-means è stato eseguito scegliendo preventivamente il numero di cluster possibili (tipicamente 2 o 3) basandosi esclusivamente sull'intuizione e quindi senza avere garanzie circa la bontà e correttezza dei risultati ottenuti. In questo Capitolo viene valutata la validità delle analisi di clustering effettuate con l'algoritmo K-means e viene utilizzata una procedura basata sul SSE e che tenta di determinare il valore ottimale di k con cui inizializzare l'algoritmo di K-means in modo da migliorarne la validità. Per ciascuno degli aspetti analizzati vengono quindi eseguite le seguenti operazioni:

1. determinazione dei valori del SSE in funzione di k ;
2. scelta di k_{opt} come il più piccolo k tale per cui il valore del SSE "smette di decrescere";
3. confronto del valore di correlazione ottenuta tra la matrice di incidenza e quella delle distanze per i valori di $k = 2, k = 3$ e k_{opt} .

Per quanto riguarda il Punto 2 è necessario approssimare il valore di k_{opt} scegliendo, ad esempio, il primo valore di k per cui si verifica una variazione nel SSE minore di una quantità fissata ϵ . Per quanto concerne il Punto 3 si ha che un valore inferiore della correlazione (sperabilmente negativo) indica un miglior risultato di clustering poiché, idealmente, punti appartenenti allo stesso cluster (quindi con valore di incidenza 1) dovrebbero trovarsi a una distanza minore. Quindi, per i tre attributi crediti totali, architetture e programmazione su cui è stata fatta la prima analisi con l'algoritmo di K-means si ottiene il grafico $k - SSE$ riportato in Figura 6.

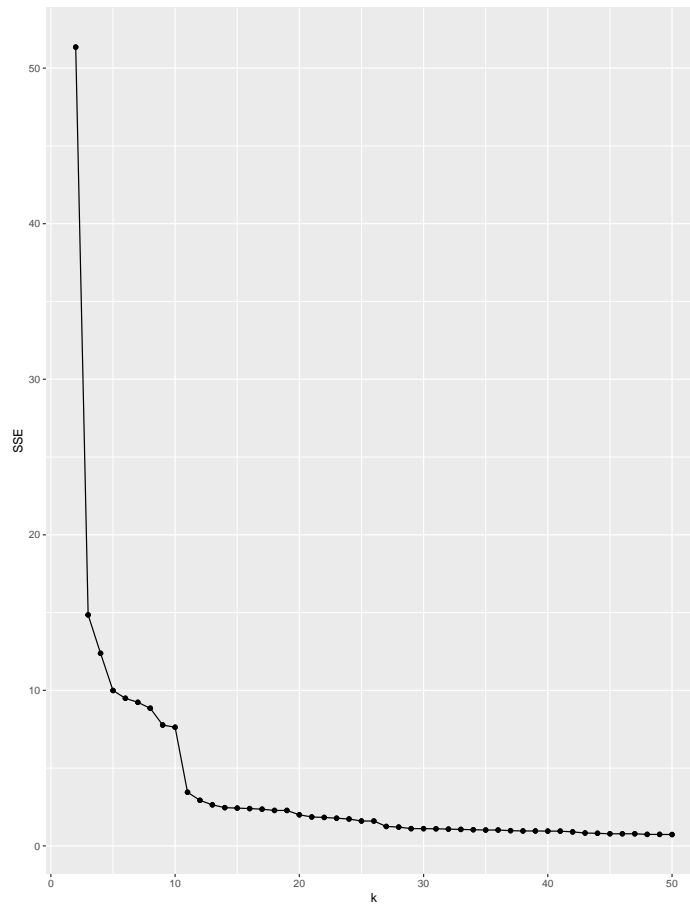


Figura 6: Andamento del valore del SSE in funzione del valore di k .

Scegliendo il valore minimo di $\varepsilon = 0.01$ (dato che è stato scelto di memorizzare i valori di SSE fino alla seconda cifra decimale) si ottiene un valore di $k_{opt} = 18$. Quindi, per determinare il valore di correlazione tra matrice di incidenza e matrice delle distanze è necessario esportare preventivamente da Weka il dataset munito di un attributo aggiuntivo che indichi il cluster di appartenenza di ciascun record. In Figura 7 viene mostrato come creare ed esportare un dataset con Weka aggiungendo per ogni record il riferimento al cluster di appartenenza a seguito dell'esecuzione dell'algoritmo di Kmeans per gli attributi crediti totali, architetture e programmazione con $k = 2$.

Nel Codice 3 viene mostrato importare il dataset comprensivo degli at-

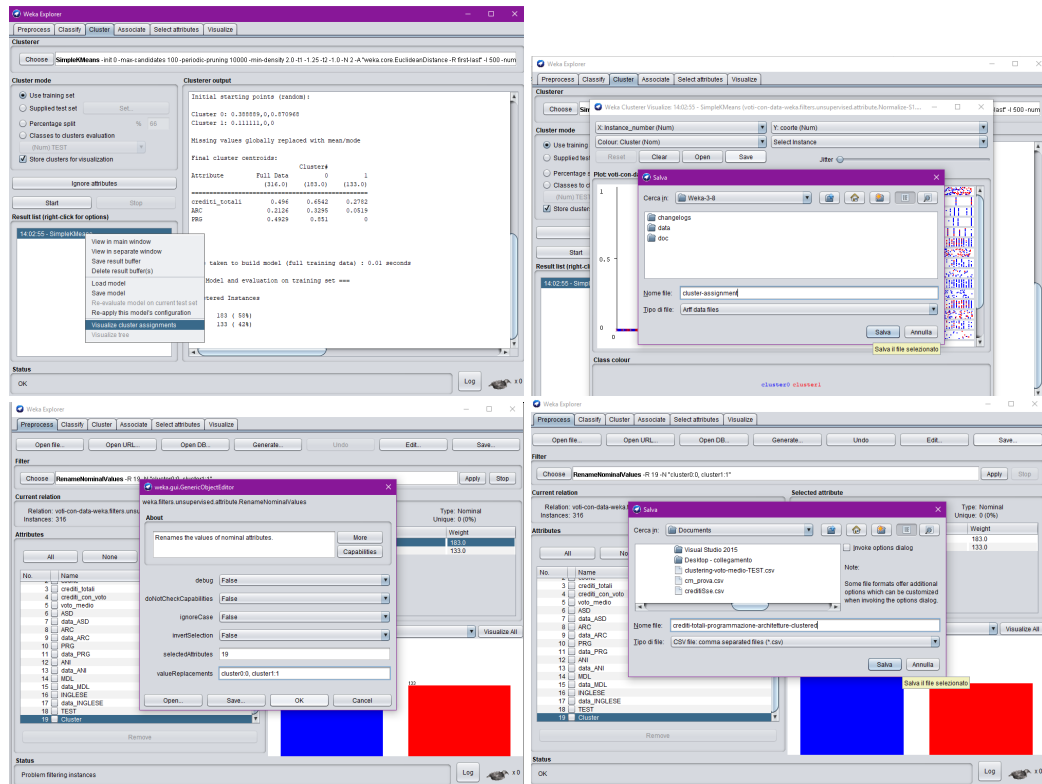


Figura 7: creazione ed esportazione del dataset con indicazione del cluster di appartenenza in Weka.

tributi crediti totali, architetture, programmazione e cluster con R, mentre il Codice 4 calcola la Matrice di incidenza dei cluster, la Matrice delle distanze per i punti e, infine, la correlazione tra le due matrici. Come si evince dal Codice, per poter calcolare il valore della correlazione è stato necessario linearizzare preventivamente le due matrici utilizzando l'istruzione `as.vector` di R.

```
library(readr)
2 crediti_totali_prg_arc_clustered <-
  read_csv("dmo/crediti_totali-prg-arc-clustered.csv",
  col_types = cols(ANI = col_skip(), ASD = col_skip(),
4     INGLESE = col_skip(), Instance_number = col_skip(),
    MDL = col_skip(), TEST = col_skip(),
6     coorte = col_skip(), crediti_con_voto = col_skip(),
    data_ANI = col_skip(), data_ARC = col_skip(),
8     data_ASD = col_skip(), data_INGLESE = col_skip(),
    data_MDL = col_skip(), data_PRG = col_skip(),
10    voto_medio = col_skip()))
View(crediti_totali_prg_arc_clustered)
```

Codice 3: Importazione degli attributi crediti totali, architetture, programmazione e cluster.

```
1 #Matrice di incidenza
C = matrix(nrow = 316, ncol = 316)
3 for(i in 1:316){
  for(j in 1:316){
5     if(crediti_totali_prg_arc_clustered[i,4] ==
      crediti_totali_prg_arc_clustered[j,4]){
        C[i,j] = 1
7     }else{
        C[i,j] = 0
9     }
  }
11 }
  #Matrice distanza
13 D = as.matrix(
    dist(crediti_totali_prg_arc_clustered[,1:3],
15    method = 'euclidean', diag = TRUE, upper = TRUE))
```

```

17 c = as.vector(t(C))
   d = as.vector(t(D))
19
   cor(c,d,method="pearson")

```

Codice 4: Calcolo Matrice di incidenza dei cluster, delle distanze e correlazione tra le due matrici.

```

import weka.core.Instances;
2 import weka.core.converters.ConverterUtils.DataSource;
import weka.filters.Filter;
4 import weka.filters.unsupervised.attribute.Normalize;
import weka.clusterers.SimpleKMeans;
6 import weka.filters.unsupervised.attribute.Remove;

8 import java.io.FileWriter;
import java.io.IOException;
10 import java.util.ArrayList;

12 public class SseWeka {

14     public static void main(String[] args) throws Exception {
        DataSource source = new DataSource("./voti-con-data.arff");
16         Instances data = source.getDataSet();
        data.setClassIndex(-1);

18         Normalize normalize = new Normalize();
20         normalize.setInputFormat(data);
        Instances nData = Filter.useFilter(data, normalize);

22         Remove remove = new Remove();
24         // 0 coorte,1 crediti_totali,2 crediti_con_voto,3
           voto_medio,4 ASD,5 data_ASD,6 ARC,7 data_ARC,
           // 8 PRG,9 data_PRG,10 ANI,11 data_ANI,12 MDL,13
           data_MDL,14 INGLESE,15 data_INGLESE,16 TEST
26         int[] attributeIndexesToRemove = {1,6,8};
        remove.setInvertSelection(true);
28         remove.setAttributeIndicesArray(attributeIndexesToRemove);
        remove.setInputFormat(nData);
30         Instances creditiArcPrg = Filter.useFilter(nData, remove);

```

```

32     SimpleKMeans kMeans = new SimpleKMeans();
    kMeans.setPreserveInstancesOrder(true);
34
    int maxK = 50;
36     int minK = 2;
    ArrayList<double[]> resultSet = new
        ArrayList<double[]>(maxK);
38     double[] a;
    for (int i = minK; i < maxK; i++) {
40         kMeans.setNumClusters(i);
        kMeans.buildClusterer(creditiArcPrg);
42         a = new double[2];
        a[0] = i; a[1] = kMeans.getSquaredError();
44         resultSet.add(a);
    }
46     for (int i = 0; i < maxK - minK; i++) {
        System.out.println(resultSet.get(i)[1]);
48     }

50     try {
        FileWriter writer = new FileWriter("creditiArcSse.txt",
            false);
52
        for (int i = minK; i < maxK; i++)
54             writer.write(i + "," + resultSet.get(i - minK)[1] +
                "\r\n");
        writer.close();
56     } catch (IOException e) {
        e.printStackTrace();
58     }

60 }
}

```

Codice 5: Codice Java per il calcolo di SSE al variare di K

Il valore di correlazione ottenuto in questo caso è pari a -0.687 . Ripetendo il clustering per gli stessi attributi con $k = 3$ e $k = 18$ si ottiene, rispettivamente un valore della correlazione tra le due matrici di -0.854 e

-0.489.

Diversamente da quanto atteso, il valore calcolato per k_{opt} non presenta un valore di correlazione inferiore rispetto agli altri due clustering, bensì risulta essere il valore peggiore tra quelli verificati con il metodo della correlazione. In Figura 8 e Figura 9 sono riportati i grafici dell'andamento del SSE in funzione di k per, rispettivamente, l'analisi condotta sui voti conseguiti dagli studenti nelle cinque materie del primo anno e l'analisi relativa al voto medio e al risultato del test. Scegliendo quindi nuovamente $\varepsilon = 0.01$ i valori di k_{opt} sono, rispettivamente 36 e 43.

| Attributi analizzati | k | Correlazione |
|--------------------------|----|--------------|
| crediti totali, ARC, PRG | 2 | -0.687 |
| | 3 | -0.854 |
| | 18 | -0.489 |
| ARC, ASD, PRG, MDL, AN1 | 2 | -0.520 |
| | 3 | -0.618 |
| | 36 | -0.424 |
| voto medio, test | 2 | -0.476 |
| | 3 | -0.465 |
| | 43 | -0.273 |

Tabella 9: Valori correlazione tra la Matrice di incidenza dei cluster e la matrice delle distanze in funzione di k .

In Tabella 9 sono riportate sinteticamente le correlazioni ottenute per ciascuna delle tre analisi condotte in funzione dei diversi valori di k scelti. Come è possibile notare consultando la Tabella 1, anche nella seconda e terza analisi il valore di k scelto consultando il grafico $k - SSE$ risulta essere il peggiore contrariamente alle aspettative.

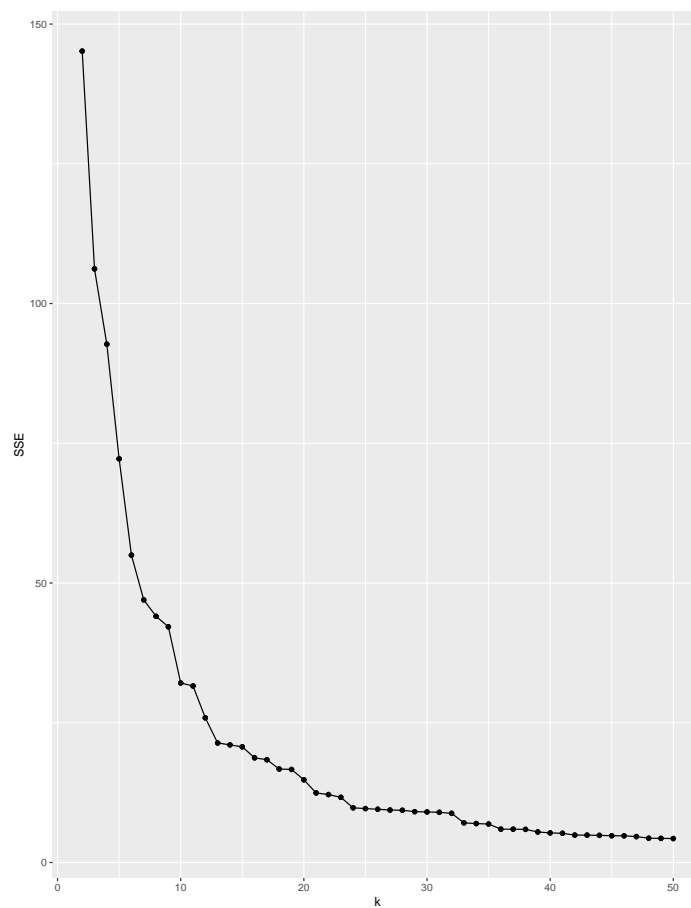


Figura 8: Andamento del valore del SSE in funzione del valore di k per i voti di architetture, programmazione, algoritmi e strutture dati, analisi matematica 1 e matematica discreta e logica.

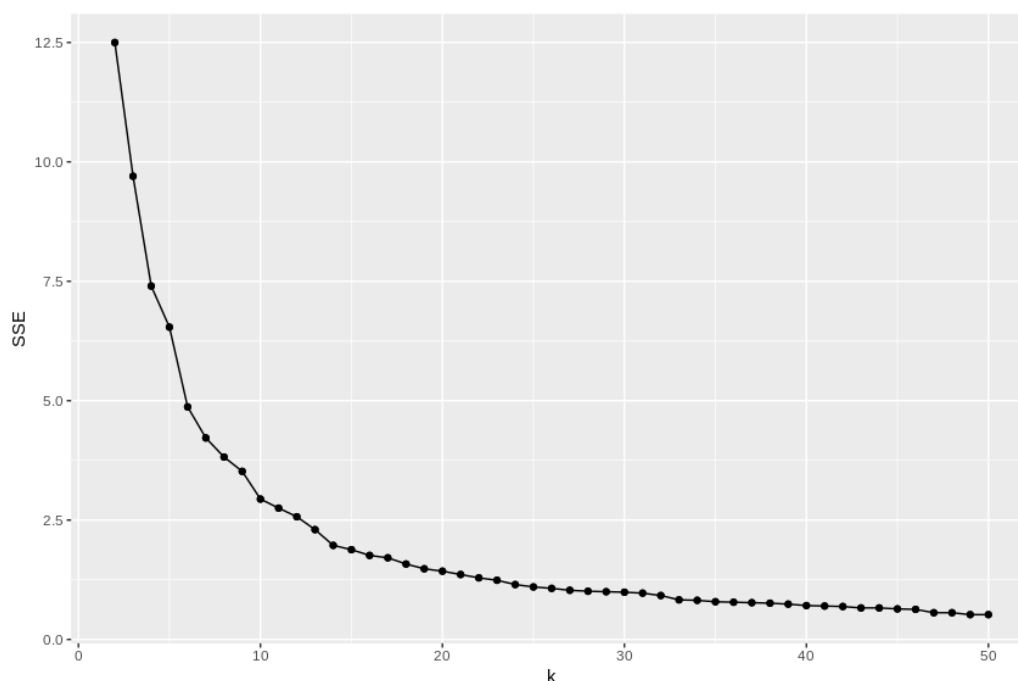


Figura 9: Andamento del valore del SSE in funzione del valore di k per il voto medio e il voto del test.

Una possibile spiegazione di questo fenomeno è la seguente: aumentando notevolmente il numero di cluster k è probabile che record vicini vengano posti in cluster differenti soprattutto se i centroidi di quest'ultimi sono anch'essi molto vicini. Quando si verifica questa circostanza il valore di incidenza nella matrice dei cluster è 0 anche se la corrispondente distanza tra due record è molto piccola andando così a ridurre il modulo della correlazione (negativa) che esiste tra i valori delle due matrici. E' possibile calcolare il valore di correlazione (e quindi valutare la bontà del clustering) tra matrice di incidenza dei cluster e matrice delle distanze anche nel clustering calcolato dall'algoritmo DBSCAN. Tale metodo è stato utilizzato nell'analisi relativa ai voti conseguiti dagli studenti nelle cinque materie del primo anno. Tuttavia, in questa circostanza è necessario provvedere all'eliminazione dal dataset dei record marcati come rumore da DBSCAN e quindi sarà necessario tener conto non solo del valore di correlazione ottenuto, ma considerare anche quanti dati vengono esclusi eseguendo l'algoritmo con certi parametri. La Figura 10 mostra con che valori

inizializzare i parametri del filtro di Weka `RemoveWithValues` al fine di eliminare dal dataset i record marcati come rumore. La Tabella 10 riporta sinteticamente i valori di correlazione e numero di record etichettati come rumore ottenuti per ogni esecuzione dell'algoritmo DBSCAN con i diversi parametri utilizzati. Come si evince dalla Tabella 10 l'esecuzione ottimale del DBSCAN è ottenuta con $\text{MinPts} = 20$ e $\text{eps} = 0.4$. Tale risultato ha tuttavia un prezzo: i record etichettati in questo caso sono 89 ossia più del doppio rispetto alle altre due esecuzioni prese in considerazione. Inoltre, considerando la Tabella 1 è possibile concludere che, l'algoritmo DBSCAN determina dei clustering migliori rispetto a K-means per l'analisi relativa ai voti conseguiti dagli studenti.

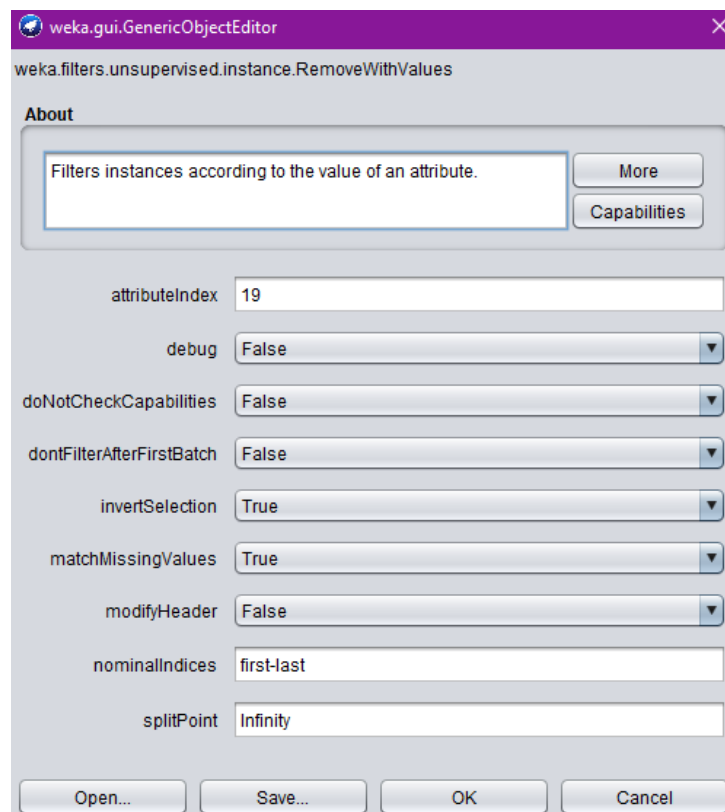


Figura 10: Valori da impostare nei parametri del filtro `RemoveWithValues` di Weka.

| MinPts, eps | Correlazione | Rumore |
|-------------|--------------|--------|
| 6,0.5 | -0.725 | 38 |
| 10,0.4 | -0.728 | 44 |
| 20,0.4 | -0.758 | 89 |

Tabella 10: Valori riepilogativi di correlazione e rumore per DBSCAN

Fino a questo momento è stata analizzata la bontà del clustering fornito da DBSCAN con i parametri scelti in maniera arbitraria basandosi sull'intuito e la conoscenza del problema. In maniera del tutto analoga a quanto fatto per l'algoritmo di K-means è possibile utilizzare una procedura di model selection che cerchi di stabilire il modello (e quindi i parametri) ottimale. Nel caso di DBSCAN la procedura che verrà utilizzata cerca di determinare il valore ottimale di eps fissando il valore di MinPts basandosi sull'idea che i k -esimi vicini dei punti contenuti in un cluster sono più o meno posti alla stessa distanza mentre i punti etichettati come rumore hanno il k -esimo vicino a una distanza maggiore. Basandosi su questo fatto è possibile determinare un grafico che sulle ascisse contiene gli indici dei record ordinati in modo non decrescente rispetto alla distanza dal loro k -esimo record più vicino e sulle ordinate mostra il valore di tale distanza. Come valore di eps è quindi possibile scegliere una distanza che è sufficientemente maggiore dalle precedenti. In Figura 11 è riportato il grafico dei valori delle distanze dei punti dal $k = 6$ -esimo più vicino. Come si può notare dalla Figura, il valore ottimale indicato per eps è maggiore di 0.4 e minore di 0.6 e quindi il valore di eps risulta essere una buona scelta. La Figura 12 e la Figura 13 riportano, rispettivamente, le distanze dei punti dal loro $k = 10$ -esimo più vicino e dal loro $k = 20$ -esimo più vicino. Nel primo caso, il valore eps scelto inizialmente è confermato da quanto riportato dalla Figura 12, mentre la Figura 13 suggerisce di scegliere un valore di eps maggiore di 0.5 per l'esecuzione del DBSCAN con MinPts=20. Tuttavia, l'esecuzione di DBSCAN con la combinazione di tali parametri non ha prodotto risultati significativi.

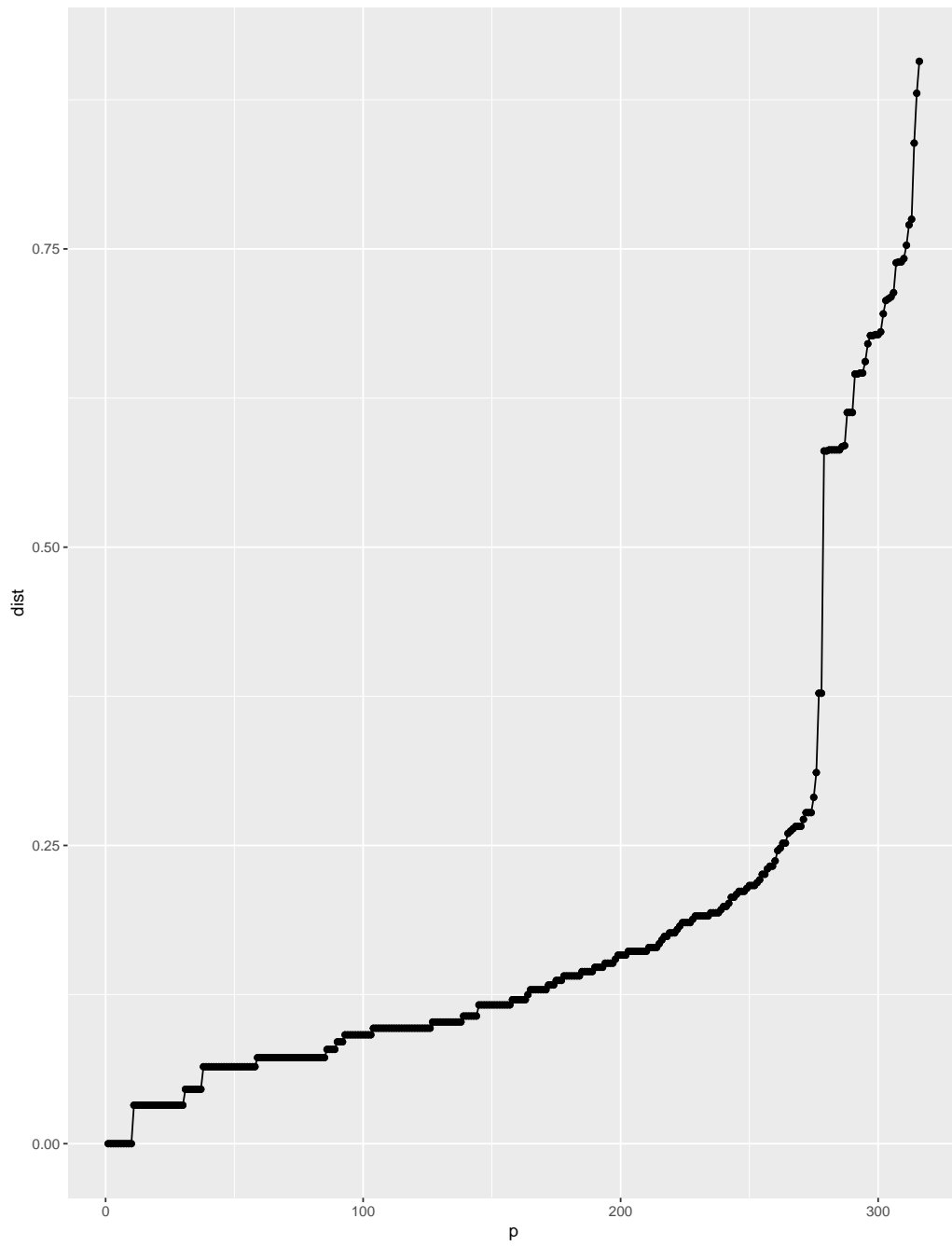


Figura 11: Distanze dei punti dal $k = 6$ -esimo più vicino.

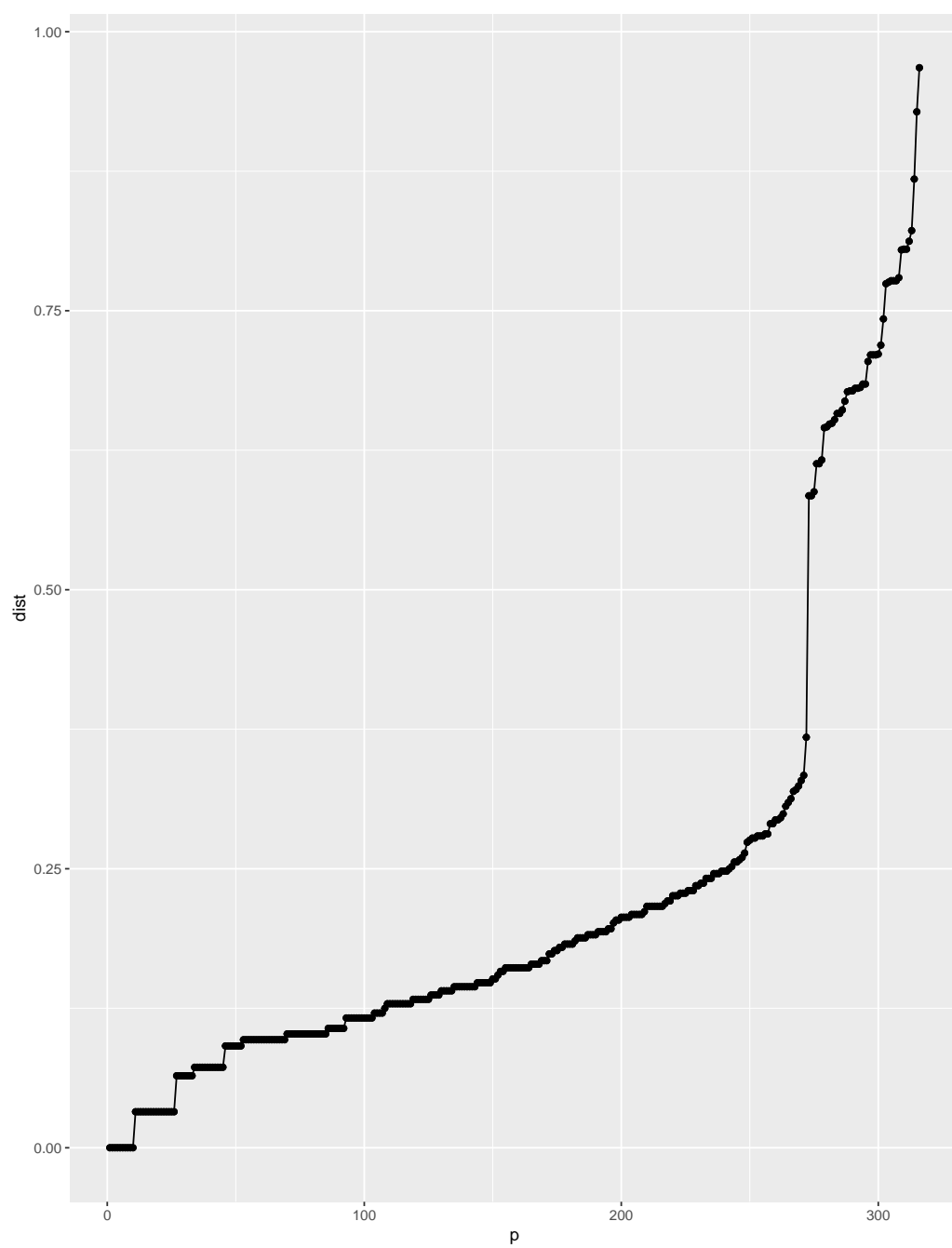


Figura 12: Distanze dei punti dal $k = 10$ -esimo più vicino.

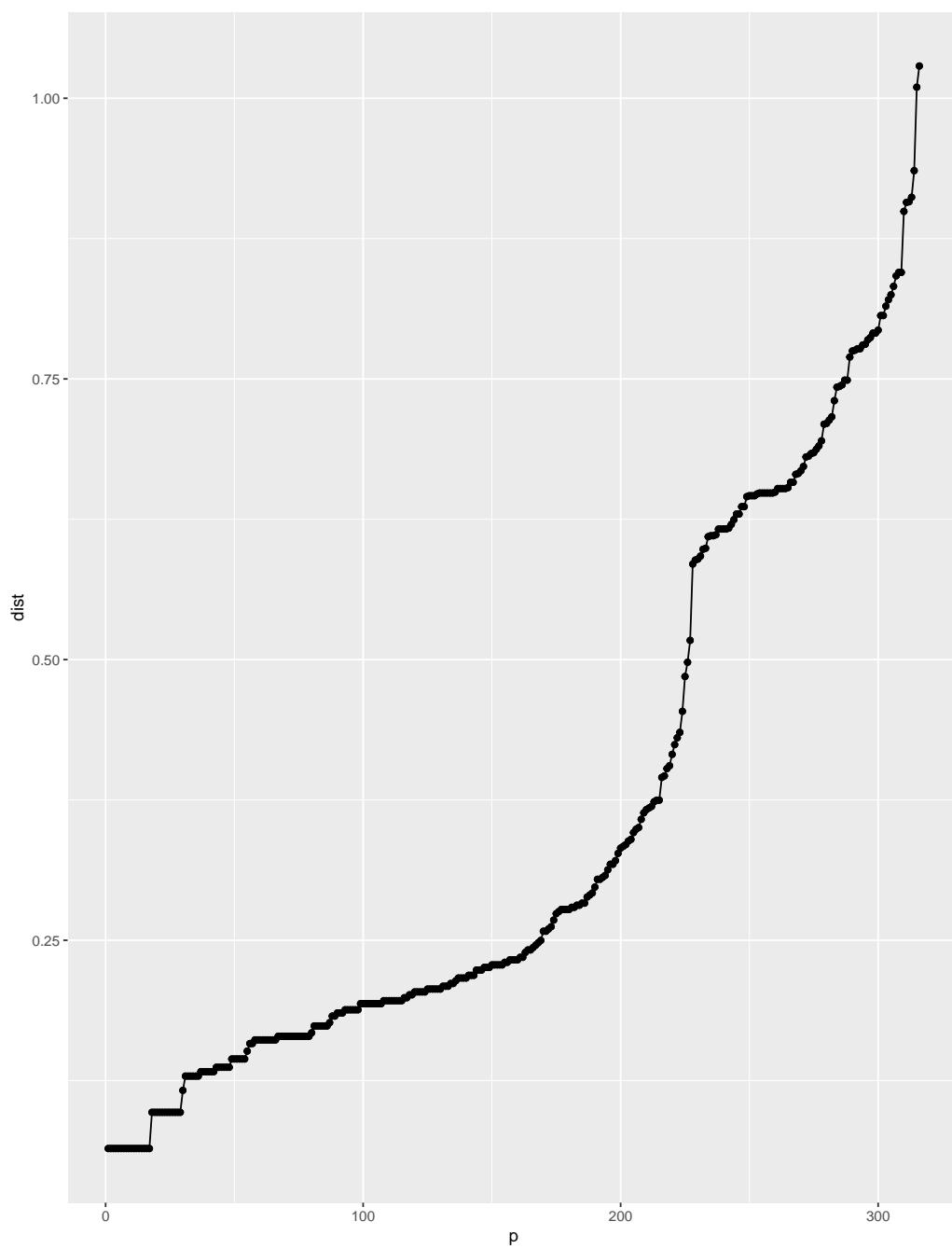


Figura 13: Distanze dei punti dal $k = 20$ -esimo più vicino.

In Tabella 11 sono riportati i modelli ottimali determinati per i tre diversi aspetti del dataset che sono stati analizzati. Tali modelli sono stati scelti basandosi esclusivamente sul valore della correlazione tra la matrice di incidenza dei cluster e la matrice delle distanze e quindi nel caso di DBSCAN non viene tenuto conto della maggior perdita di dati che vengono etichettati come rumore nel modello ottimale riportato in Tabella 13. In ogni caso, tenendo conto anche di questo aspetto, DBSCAN si è rilevato essere un algoritmo affidabile per l'analisi su cui è stato eseguito e anche l'esecuzione con gli altri parametri ha portato a risultati paragonabili a quelli del modello ottimale e decisamente migliori di quelli ottenuti con il K-means.

| Attributi analizzati | Algoritmo Migliore | Parametri ottimali | Correlazione |
|--------------------------|--------------------|--------------------|--------------|
| crediti totali, ARC, PRG | K-means | $k = 3$ | -0.854 |
| ARC, ASD, PRG, MDL, AN1 | DBSCAN | MinPts=20,eps=0.4 | -0.758 |
| voto medio, test | K-means | $k = 2$ | -0.476 |

Tabella 11: Modelli ottimali.

6 Conclusioni

In riferimento ai risultati ottenuti con le tecniche di clustering è possibile trarre le seguenti conclusioni riguardo le carriere degli studenti:

- l'esame di Architetture degli Elaboratori risulta essere l'esame più difficile per gli studenti del primo anno, infatti la maggioranza non riesce a sostenerlo nel corso della sessione estiva. Tuttavia, generalmente gli studenti che sostengono con profitto tale esame riescono a sostenere con un buon voto anche gli altri;
- la maggior parte degli studenti che ottengono un buon punteggio al test d'ingresso mantengono una buona media mentre quelli che hanno ottenuto un punteggio più basso hanno anche una media più bassa. Tuttavia è presente un significativo gruppo di studenti che pur avendo ottenuto un buon punteggio al test di ingresso non riescono ad avere una media altrettanto buona;
- La maggior parte degli studenti riesce a sostenere nel corso della sessione estiva gli esami di Algoritmi e Strutture Dati, Analisi I e in alcu-

ni casi l'esame di Programmazione con risultati altalenanti. Mentre generalmente gli esami di Architetture degli Elaborati e Matematica Discreta e Logica non vengono sostenuti dagli studenti al termine del loro primo anno.

inoltre, in ciascuna delle analisi eseguite risultavano esserci almeno 3 gruppi di studenti che presentavano caratteristiche significativamente differenti.

Elenco delle figure

| | | |
|----|---|----|
| 1 | Scatterplot tra Crediti totali e Algoritmi e strutture dati . . . | 6 |
| 2 | Scatterplot tra Crediti totali e Architetture degli elaboratori . | 7 |
| 3 | Scatterplot tra Architetture degli elaboratori e Programmazione e tra Algoritmi e strutture dati e Analisi I | 8 |
| 4 | Matrice di correlazione | 9 |
| 5 | Scatter plot relativo ai cluster dei voti di Architetture degli Elaboratori e Programmazione | 13 |
| 6 | Andamento del valore del SSE in funzione del valore di k . . | 17 |
| 7 | creazione ed esportazione del dataset con indicazione del cluster di appartenenza in Weka. | 18 |
| 8 | Andamento del valore del SSE in funzione del valore di k per i voti di architetture, programmazione, algoritmi e strutture dati, analisi matematica 1 e matematica discreta e logica. | 23 |
| 9 | Andamento del valore del SSE in funzione del valore di k per il voto medio e il voto del test. | 24 |
| 10 | Valori da impostare nei parametri del filtro <code>RemoveWithValues</code> di Weka. | 25 |
| 11 | Distanze dei punti dal $k = 6$ -esimo più vicino. | 27 |
| 12 | Distanze dei punti dal $k = 10$ -esimo più vicino. | 28 |
| 13 | Distanze dei punti dal $k = 20$ -esimo più vicino. | 29 |

Elenco delle tabelle

| | | |
|----|---|----|
| 1 | Correlazione | 5 |
| 2 | Cluster con ARC e PRG con $k = 2$ SSE 51.35 | 10 |
| 3 | Cluster con ARC e PRG con $k = 3$ SSE 14.85 | 11 |
| 4 | Cluster di tutti i voti con $k = 3$ SSE 106.19 | 12 |
| 5 | Cluster ottenuti con DBSCAN eseguito con MinPts=6 e eps=0.5. | 14 |
| 6 | Cluster ottenuti con DBSCAN eseguito con MinPts=10 e eps=0.4. | 14 |
| 7 | Cluster ottenuti con DBSCAN eseguito con MinPts=20 e eps=0.4. | 15 |
| 8 | Cluster con Voto_medio e Test con $k = 3$ SSE 9.6 | 15 |
| 9 | Valori correlazione tra la Matrice di incidenza dei cluster e la matrice delle distanze in funzione di k | 22 |
| 10 | Valori riepilogativi di correlazione e rumore per DBSCAN | 26 |
| 11 | Modelli ottimali. | 30 |