



UNIVERSITÀ POLITECNICA DELLE MARCHE
FACOLTÀ DI ECONOMIA "GIORGIO FUÀ "

Corso di Laurea Triennale in Economia e Commercio

**Analisi fattoriale sull'evoluzione della
musica dagli anni '60 ad oggi.**

Factor Analysis on evolution of music from the 1960s to date.

Relatore:

Lucchetti Riccardo

Rapporto finale di:

Piemontese Marco

Anno Accademico 2020/2021

Indice

1	Introduzione	3
2	Fonte dei dati, descrizione del dataset e delle variabili.	4
3	L'analisi fattoriale	8
3.1	Introduzione	8
3.2	La matrice delle correlazioni Σ	8
3.3	La matrice dei fattori F	12
3.3.1	Componenti principali	12
3.3.2	Massima verosimiglianza	13
3.4	Stabilire e testare il numero dei fattori	14
3.5	Le saturazioni	14
4	Statistiche descrittive e distribuzione delle variabili.	16
5	Factor Analysis.	26
5.1	Definizione di nuove variabili:	26
5.1.1	La funzione di ripartizione inversa della Liveness.	26
5.1.2	La trasformazione logaritmica della Duration.	27
5.1.3	Le variabili Horns, Easy, Sharps	28
5.2	Static factor analysis	32
5.3	Risultati	35
6	Conclusioni	38
	Riferimenti bibliografici	39

1 Introduzione

Questa tesi vuole affrontare il tema dell'evoluzione della musica dagli anni '60 fino ad oggi. In particolare l'obiettivo di questo elaborato è quello di evidenziare come determinati stilemi tecnici e caratteristiche musicali di un campione di brani si siano evoluti nel tempo.

Utilizzando un dataset contenente oltre 40 000 canzoni, dal 1960 al 2019, ho voluto condurre un'analisi fattoriale esplorativa che ha permesso di fornire una risposta riguardo l'evoluzione e la variazione delle caratteristiche tecniche e degli elementi stilistici dei brani musicali.

Includendo nell'analisi variabili estratte dalla sezione Web API di Spotify e altre variabili definite in funzione delle prime, è stata trovata rilevanza statistica di un aumento graduale nel tempo della misura dell'energia e dell'intensità dei brani musicali.

È stato inoltre evidenziato, se pur in maniera lieve, un aumento della durata e della complessità della struttura delle canzoni e un modesto incremento, limitato ad un determinato periodo storico, della vivacità e della festosità dei brani.

2 Fonte dei dati, descrizione del dataset e delle variabili.

Il campione che verrà utilizzato in questa analisi è il dataset “The Spotify Hit Predictor Dataset”, messo a disposizione dall’utente Farooq Ansari nella piattaforma Kaggle.com ¹

Esso contiene oltre 40 000 canzoni dal 1960 fino al 2019, ed è suddiviso in base al decennio di appartenenza delle canzoni, quindi è frazionabile in altri sei sotto-campioni relativi agli anni ‘60, agli ‘70 e così via fino agli anni ‘10 del XXI secolo.

Le variabili utili per questa analisi sono rappresentate dalle caratteristiche musicali dei brani, le quali possono essere estratte dalla sezione Web API di Spotify ² e sono calcolate sulla base di alcuni fattori musicali di natura tecnica. Tuttavia, Spotify non divulga le formule per il calcolo di questi valori, presumibilmente per ragioni commerciali.

Di seguito i fattori considerati.

Danceability: descrive quanto una traccia può essere adatta e predisposta al ballo, la valutazione della "ballabilità" determinata dalla combinazione di elementi musicali come il tempo, il ritmo, l’importanza della strumentale e altri; è un valore compreso tra 0 e 1, quindi il valore 0 indica una canzone per niente ballabile e 1 una canzone molto ballabile.

Energy: è compresa tra 0 e 1 e misura la percezione dell’intensità e attività della traccia. Tipicamente le tracce energiche, veloci, forti e rumorose hanno un valore alto; per esempio, il genere Death Metal avrà canzoni con valori

¹<https://www.kaggle.com/theoverman/the-spotify-hit-predictor-dataset>

²<https://developer.spotify.com/documentation/web-api/reference/tracks/get-audio-features/>

di energia molto alti, mentre un preludio di Bach avrà dei valori molto più bassi. Questa caratteristica include anche l'intervallo dinamico, la *loudness* percepita e il timbro.

Key: misura in quale chiave si trova la canzone. Ad ogni tono sono associati dei numeri interi, per esempio $0 = C$ (che corrisponde al Do nella notazione anglosassone), $1 = C\# / Db$ ($Do\#$ o Re_b), $2 = D$ (Re) e così via; se non è stata rilevata nessuna chiave il valore corrisponde a -1 . (Dato che i toni sono in totale 12, e questa scala parte dal valore 0, i valori della variabile *key* sono tutti numeri interi compresi tra -1 e 11).

Loudness: è il volume complessivo della traccia misurato in decibel (dB). Il volume è strettamente collegato all'intensità del suono e solitamente i valori ordinari oscillano tra -60 e 0 dB.

Mode: indica la modalità (maggiore o minore) della chiave, 0 se è minore e 1 se è maggiore. Quindi, per esempio, una canzone nella chiave di Fa maggiore presenterà i valori di *key* e *mode* rispettivamente pari a 5 e 1 .

Speechness: determina la presenza di parole parlate nella traccia ed è un valore compreso tra 0 e 1 . Un valore molto vicino a 1 indica una traccia audio "molto parlata" come per esempio una poesia recitata. Solitamente valori sopra 0.66 descrivono tracce che sono quasi interamente composte da parole, valori compresi tra 0.33 e 0.66 descrivono tracce che possono contenere sia cantato sia parlato, un chiaro esempio è il genere rap; infine, valori inferiori a 0.33 sono riferiti a tracce principalmente cantate.

Acousticness: misura, in una scala che va da 0 a 1, quanto il brano musicale sia acustico, rispetto ad elettronico. Un valore vicino a 1 rappresenta con molta probabilità una traccia acustica.

Instrumentalness: determina quanto parlato o cantato ci sia all'interno di un brano. Valori molto vicini a 1 rappresentano principalmente tracce strumentali.

Liveness: determina la presenza di un pubblico nella registrazione, valori vicini a 1 rappresentano con buona probabilità che si tratta di canzoni esibite live.

Valence: misura compresa tra 0 e 1 che descrive la "positività" trasmessa dal brano musicale, tracce con alto *valence* sono tracce positive (felici, euforiche o spensierate) mentre tracce con un valore basso indicano valori di negatività (tristezza, depressione, rabbia).

Tempo: indica il tempo della canzone, quindi la velocità e il ritmo del brano ed è misurato in battiti al minuto (BPM).

Duration ms: indica la durata della traccia in millisecondi (ms)

Time signature: misura l'indicazione del tempo nella notazione musicale, indica quanti battiti ci sono per ogni battuta (per esempio una canzone può essere in 4/4, 3/4, ecc., in questo caso una canzone in 4/4 avrà un valore *time signature* pari a 4, una canzone in 3/4 avrà un valore *time signature* pari a 3).

Chorus hit: indica una stima di quando inizia il ritornello della canzone, misurato in secondi a partire da quando inizia la canzone.

Sections: il numero di sezioni del brano musicale.

Period: indica il periodo di riferimento della canzone, ossia il decennio in cui è stata pubblicata; assume valore uguale a 1 se ci si riferisce agli anni '60 (1960-1969), 2 agli anni '70 (1970-1979) e così via fino a 6 che corrisponde agli anni '10 (2010-2019).

Target: il target è una variabile dummy che può essere pari a 1 o a 0. Il valore 1 indica che la canzone è comparsa almeno una volta nella Weekly List of Hot 100, la principale classifica musicale dell'industria discografica statunitense, proposta da Billboard, in un determinato periodo.³

Il valore 0 indica che la traccia è classificata come “flop”.⁴

³La Weekly List of Hot 100 è la principale classifica musicale dell'industria discografica statunitense, pubblicata settimanalmente dalla rivista specializzata Billboard; contiene i 100 singoli di maggiore successo negli Stati Uniti: è basata sulle trasmissioni radio, sullo streaming in rete e sulla vendita di dischi, insieme alle visualizzazioni YouTube. Tuttavia, i criteri che permettono di stilare la classifica sono cambiati più volte nel corso dei decenni per adattarsi alle mutazioni del mercato e dell'avanzamento tecnologico.

Ad oggi, la Billboard Hot 100 è regolata: [1]

- dai passaggi in radio dei singoli misurati dalla Nielsen BDS (Broadcast Data Systems), un servizio che tiene traccia delle trasmissioni radio, televisive e internet delle canzoni monitorate in base al numero dei rilevamenti.
- dai dati di vendita sia fisici che digitali, forniti da Nielsen SoundScan, un sistema di informazione e di tracciatura delle vendite, e anche il metodo ufficiale di tracciatura di singoli discografici, album e video musicali negli Stati Uniti e in Canada.
- dalla riproduzione dei singoli in streaming misurata grazie alla collaborazione dei servizi che permettono la riproduzione dei singoli stessi.

⁴La classificazione “flop” non si riferisce alla buona riuscita del brano musicale, ma indica solamente che la canzone probabilmente non può essere considerata una canzone di successo nel settore mainstream statunitense.

L'autore del dataset ha infatti tenuto conto di alcune condizioni per associare il valore 0 ad un brano:

- la traccia non deve essere comparsa nelle classifiche del relativo decennio,
- l'artista della traccia in questione non deve essere comparso nelle classifiche del decennio,
- la traccia deve appartenere ad un genere che si può considerare non mainstream oppure ad un genere d'avanguardia,
- il genere in questione non deve comparire nelle classifiche e infine la traccia deve essere presente nel mercato musicale statunitense.

3 L'analisi fattoriale

3.1 Introduzione

La nascita dell'analisi fattoriale si deve ad uno psicologo, Charles Edward Spearman, che agli inizi del '900 formulò questa tecnica con l'obiettivo di misurare in modo analitico l'intelligenza umana; questa è infatti molto utilizzata tra gli psicologi che si occupano di psicometria.

Questa tecnica trova larga applicazione nella ricerca psicologica e sociale: essa infatti viene spesso utilizzata per formalizzare teorie nell'ambito del comportamento umano e per studiare dei fenomeni non direttamente osservabili, come l'intelligenza o il livello di stress percepito.

Quindi il modello dell'analisi fattoriale ha l'obiettivo di individuare tendenze e relazioni tra i dati, che possono non essere facilmente apparenti, ma che consentono comunque di studiare e analizzare, con una base scientifico-statistica, eventi e comportamenti sia a scopi esplorativi che a scopi confermativi.

3.2 La matrice delle correlazioni Σ

Partendo da una serie di variabili, che sono state osservate direttamente sul campione che si sta esaminando, l'analisi consiste nel cercare di spiegare perché queste variabili sono correlate tra di loro e hanno determinate relazioni, facendo ricorso ad altre variabili, dette "fattori" o "variabili latenti".

Queste ultime non sono direttamente misurate, ma vengono introdotte dal ricercatore proprio per spiegare perché certi fenomeni presentano una correlazione più o meno elevata.

L'ipotesi di base consiste nell'ipotizzare che il valore x_{ij} , relativo all'osservazione i ($i = 1 \dots n$) e alla variabile j ($j = 1 \dots k$), sia una combinazione di un numero p di fattori non misurabili, che "causano" le variabili osservate,

secondo il seguente modello:

$$x_{ij} = a_{1j}f_{i1} + a_{2j}f_{i2} + \dots + a_{pj}f_{ip} + u_{ij}$$

dove le “ f ” sono i fattori da stimare, i quali influenzano più di una variabile; le “ a ” sono i coefficienti di ogni fattore, definite "saturazioni" e rappresentano la relazione tra variabili e fattori, e infine con la lettera “ u ” si indica il termine di errore, o unicità della variabile, ovvero quella parte della variabile x_{ij} che non è spiegata dai fattori.

La seguente espressione può essere riscritta in forma vettoriale, per ogni osservazione o individuo del campione, nel seguente modo:

$$x_i = a_i F'$$

$$[x_1 x_2 \dots x_k] = [a_1 \dots a_p][f_1 \dots f_p]'$$

dove x_i è il vettore riga con tutte le variabili da 1 a k ; a_i è il vettore riga con i coefficienti da 1 a p , ed F' è la matrice trasposta dei fattori con p righe e k colonne.

Riscrivendo la precedente espressione in forma matriciale per tutte le i osservazioni si ha:

$$X = AF' + U$$

dove X è la matrice di n righe e k colonne delle variabili osservabili, A è la matrice dei coefficienti con n righe e p colonne, e U è la matrice delle unicità.

A questo punto, è opportuno supporre alcune condizioni:

- $E(U'A) = 0$
- $E(A'U) = 0$
- $E(U'U) = \Theta$
- $E(A'A) = \Phi$
- $E(X'X) = \Sigma$

Le prime due ipotesi permettono di affermare che non c'è correlazione tra gli errori u e le saturazioni a , questo perché si presume che i termini di errore e i coefficienti abbiano media zero, quindi se il valore atteso del prodotto è uguale a 0, di conseguenza lo sarà anche la covarianza, così come la correlazione; difatti:

$$E(U) = 0 \quad E(A) = 0$$

$$cov(U, A) = E(U'A) - E(U)E(A)$$

$$corr(U, A) = \frac{cov(U, A)}{[var(U)var(A)]^{\frac{1}{2}}}$$

Le ipotesi successive semplicemente definiscono tre nuove matrici: la matrice varianza-covarianza dei termini d'errore, indicata con la lettera Theta Θ ; la matrice varianza-covarianza dei coefficienti, indicata con la lettera Phi Φ ; e, infine, la matrice delle correlazioni delle variabili, indicata con Sigma Σ .

Questa matrice Σ è una matrice quadrata simmetrica, con k righe e k colonne, in cui ogni elemento sulla diagonale principale è uguale a 1, in quanto indica la correlazione di una variabile con sé stessa, e ogni elemento al di

fuori della diagonale misura la correlazione tra due variabili.

Utilizzando l'equazione $X = AF' + U$, si può riscrivere la matrice Σ come:

$$\Sigma = E(X'X) = E(FA'AF) + E(U'U) = F\Phi F' + \Theta$$

Obiettivo dell'analisi è quello di ricavare la matrice F in maniera tale che il numero di fattori p sia strettamente minore del numero di variabili osservate k , proprio perché uno scopo dell'analisi fattoriale è quello di riassumere l'informazione contenuta nella matrice Σ e di spiegarla attraverso un numero molto contenuto di fattori, tale che $p < k$.

Questo costituisce, infatti, il primo vincolo che generalmente si fissa per stimare i parametri di interesse.

Altri vincoli sono:

- Si fissano gli elementi al di fuori della diagonale principale della matrice Θ uguali a 0, assumendo che i termini di errore siano incorrelati tra di loro, anche perché non particolarmente interessanti ai fini dell'analisi.
- Si assume che la matrice Φ sia una matrice identità oppure una matrice diagonale, questo equivale a dire che i fattori sono incorrelati tra di loro, e nel caso di una matrice identità hanno varianza uguale a 1.

Consideriamo ora il caso in cui la matrice Φ sia una matrice identità, composta da tutti "1" sulla diagonale principale e tutti "0" al di fuori della diagonale; di conseguenza, l'equazione della matrice Σ diventa:

$$\Sigma = FF' + \Theta$$

A questo punto, si può definire la matrice $\hat{\Sigma}$ come la matrice stimata delle covarianze, che non tiene conto delle unicità, data dalla formula:

$$\hat{\Sigma} = FF'$$

3.3 La matrice dei fattori F

3.3.1 Componenti principali

Un metodo per arrivare alla matrice F e per stimare i fattori del modello è quello delle componenti principali. Questo metodo si basa sul calcolo di alcuni elementi che caratterizzano la matrice Σ : gli autovalori e gli autovettori ad essa associati.

Difatti, una matrice quadrata simmetrica definita positiva può essere calcolata nel seguente modo:

$$\Sigma = V'LV \simeq FF'$$

dove V è la matrice con k righe e k colonne degli autovettori, e L è la matrice diagonale degli autovalori, che contiene gli autovalori in ordine decrescente sulla diagonale principale.

Di conseguenza, la matrice dei fattori F si può definire come:

$$F = V'L^{\frac{1}{2}}$$

La matrice V è composta da k autovettori e ciascun autovettore può essere considerato come un vettore di coefficienti usati per formare delle combina-

zioni lineari con le variabili X . Per esempio, moltiplicando il vettore riga x_i per l'autovettore v_j , che è un vettore colonna, si ottiene la variabile c_{ij} :

$$c_{ij} = x_i v_j$$

che è la j -esima componente principale dell'osservazione i .

Di conseguenza, unendo questi valori di tutte le variabili per tutte le osservazioni si ottiene la matrice C , ossia la matrice delle componenti principali, composta da n righe e k colonne.

3.3.2 Massima verosimiglianza

Un altro approccio è quello della massima verosimiglianza, secondo il quale si stimano i coefficienti dei fattori che massimizzano la funzione di verosimiglianza, ovvero la probabilità di osservare Σ .

Partendo da questa equazione: $\Sigma = FF' + \Theta$, e moltiplicando entrambi i termini per $(\Theta^{-\frac{1}{2}}\Theta^{-\frac{1}{2}})$, si ottiene:

$$\Theta^{-\frac{1}{2}}\Sigma\Theta^{-\frac{1}{2}} = \Theta^{-\frac{1}{2}}FF'\Theta^{-\frac{1}{2}} + \Theta^{-\frac{1}{2}}\Theta\Theta^{-\frac{1}{2}}$$

Definiamo quindi: $\Sigma^* = \Theta^{-\frac{1}{2}}\Sigma\Theta^{-\frac{1}{2}}$ e $F^*F^{*'} = \Theta^{-\frac{1}{2}}FF'\Theta^{-\frac{1}{2}}$.

Da quest'ultima poi ricaviamo: $F^* = \Theta^{-\frac{1}{2}}F$.

Di conseguenza: $\Sigma^* = F^*F^{*'} + I$

E si ottiene: $\Theta^{-\frac{1}{2}}(\Sigma - \Theta)\Theta^{-\frac{1}{2}} = \Theta^{-\frac{1}{2}}\Sigma\Theta^{-\frac{1}{2}} - \Theta^{-\frac{1}{2}}\Theta\Theta^{-\frac{1}{2}} = \Sigma^* - I$

Ora, si definisce la matrice quadrata simmetrica definita positiva $\Sigma^* - I$ come prodotto tra le seguenti matrici:

$$\Sigma^* - I = \Omega Y \Omega'$$

dove Y è la matrice diagonale degli autovalori e Ω è la matrice degli autovettori, con k righe e p colonne, tale che $\Omega'\Omega = I$.

Di conseguenza: $F^*F^{*'} = \Sigma^* - I = \Omega Y \Omega'$

Da cui si ricava: $F^* = \Omega Y^{-\frac{1}{2}}$ arrivando a poter definire la matrice F dei fattori come: $F = \Theta^{\frac{1}{2}} \Omega Y^{-\frac{1}{2}}$.

3.4 Stabilire e testare il numero dei fattori

È stato evidenziato come uno degli scopi dell'analisi fattoriale sia quello di riassumere l'informazione delle variabili attraverso un numero molto contenuto di fattori.

Esistono due regole generali per stabilire il numero di fattori: una consiste nel considerare tanti fattori quanti sono gli autovalori maggiori di 1, perché, a differenza degli autovalori minori di 1, riescono a spiegare una larga parte dell'informazione espressa dalle variabili.

Un altro metodo è lo scree-test: consiste nel tracciare un grafico che mostra gli autovalori, sull'asse delle ordinate, in relazione al numero di fattori, sulle ascisse. Dopodiché si stabilisce il numero di fattori da estrarre come il numero di autovalori presenti sulla curva prima che questa cambi pendenza e diventi piatta.

3.5 Le saturazioni

Per quanto riguarda la stima delle saturazioni, ossia i coefficienti dei fattori, questi si possono ottenere partendo dalla regressione lineare: $A = XB + e$, dove A è la matrice di n righe e p colonne delle saturazioni, X è la matrice di n righe e k colonne delle variabili ed e è la matrice dei termini di errore.

Una stima di \hat{B} è data da $(X'X)^{-1}(X'A)$, in cui:

$$E(X'A) = E[(U' + FA')A] = E[U'A + FA'A] = F\Phi.$$

In conclusione, si avrà che $\hat{B} = \hat{\Sigma}^{-1}\hat{F}\hat{\Phi}$, di conseguenza è possibile stimare la matrice delle saturazioni come: $\hat{A} = X\hat{\Sigma}^{-1}\hat{F}\hat{\Phi}$.

L'interpretazione dei risultati avviene esaminando la matrice delle saturazioni: l'obiettivo è quello di ottenere una matrice semplice in modo da poter definire i fattori secondo le variabili osservate che meglio li rappresentano.

In questa tesi, l'obiettivo dell'analisi fattoriale è proprio quello di studiare il comportamento nel tempo di caratteri ed elementi stilistici di brani musicali: questi rappresentano i fattori non direttamente osservabili, che riassumono tutta l'informazione fornita dalle variabili, le quali sono invece rappresentate dalle caratteristiche tecniche dei brani.

4 Statistiche descrittive e distribuzione delle variabili.

Il campione è composto da 41 106 canzoni, pubblicate tra il 1960 e il 2019, distribuite tra i vari decenni in questo modo:

Periodo	Frequenza assoluta	Frequenza relativa
1960-1969	8642	21,02%
1979-1979	7766	18,89%
1980-1989	6908	16,81%
1990-1999	5520	13,43%
2000-2009	5872	14,29%
2010-2019	6398	15,56%

La durata. La durata media delle tracce musicali, prendendo in considerazione il campione complessivo, è di 234 880 millisecondi, che corrisponde a 3:55 minuti circa; la durata mediana è di 217 910 millisecondi, pari a 3:38 minuti.

Questa differenza tra i due valori indica una distribuzione asimmetrica positivamente, ed è una caratteristica rispettata anche dai sotto-campioni relativi ai diversi decenni.

La tavola seguente riporta le principali statistiche descrittive della variabile *duration ms* per periodi, espressa in millisecondi e in minuti tra parentesi, di più facile interpretazione.

Periodo	Durata media	Durata mediana	SQM	Coefficiente di variazione
1960-1969	183 640 (3:04)	162 750 (2:43)	100 570 (1:41)	0,54768
1970-1979	239 930 (4:00)	210 810 (3:31)	144 970 (2:25)	0,60423
1980-1989	254 760 (4:15)	241 860 (4:02)	107 320 (1:47)	0,42127
1990-1999	256 210 (4:16)	246 720 (4:07)	103 440 (1:43)	0,40373
2000-2009	258 170 (4:19)	238 010 (3:58)	139 530 (2:19)	0,54047
2010-2019	236 700 (3:57)	221 250 (3:41)	85 637 (1:26)	0,36179

È interessante notare come la durata media dei brani sia sensibilmente cambiata con il passare dei decenni: si può rilevare una notevole differenza tra gli anni '60 e '70, dove la durata media passa da un valore di circa 3 minuti ad un valore di 4 minuti nel decennio successivo.

Si registra poi una leggera crescita con il passare dei decenni fino agli anni 2010-2019 in cui questa tendenza inverte la rotta con un valore medio inferiore, pari a 3 minuti e 57 secondi.

Inoltre, è interessante notare come il coefficiente di variazione si riduca con il passare dei decenni, passando da un valore di 0,54768 relativo al periodo 1960-1969 ad un valore di 0,36179 relativo al periodo 2010-2019.

Questa riduzione indica una misura della variabilità della durata delle canzoni: maggiore è questo indice e più i valori saranno distanziati rispetto alla media; si può quindi giungere alla conclusione che con il passare dei decenni questa variabilità è leggermente diminuita.

Il tempo. La variabile *tempo* è espressa in bpm (beats per minute o battiti per minuto), un bpm può essere considerato l'unità di misura di una canzone, ovvero il parametro che ne scandisce il tempo.

Per evitare di prendere in considerazione valori inverosimili, dall'editor di script del software Gretl, attraverso il seguente comando, è stata imposta una restrizione sul campione: `smpl tempo > 0 --restrict`.

Questa restrizione fa sì che vengano presi in considerazione solamente i brani che rispettano la condizione $tempo > 0$, esclude quindi automaticamente le tracce che hanno un valore pari a 0, una misura impossibile, chiaramente un errore nel processo di raccolta dati.

Per quanto riguarda le statistiche descrittive, la variabile *tempo* assume media pari a 119,34 e mediana pari a 117,57, con un range interquartile, pari a 39,101, che indica una dispersione non troppo elevata intorno alla mediana. Dalla distribuzione di frequenza è possibile notare che la maggior parte dei brani musicali assume un valore compreso tra 70 e 150 bpm, anche se è opportuno specificare che la misura dei bpm varia da un genere musicale ad un altro.

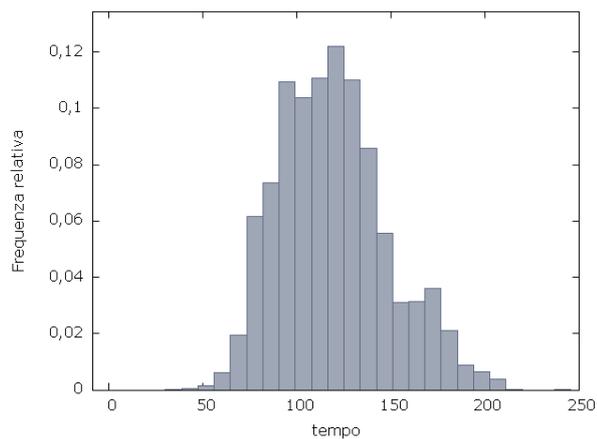


Figura 1

Key e mode. Osservando la distribuzione di frequenza della variabile *key* quando la variabile *mode* è uguale a 0, ovvero quando la tonalità della chiave è minore, si può notare che la chiave con frequenza relativa maggiore è quella di La minore, seguita da Si minore e Mi minore.

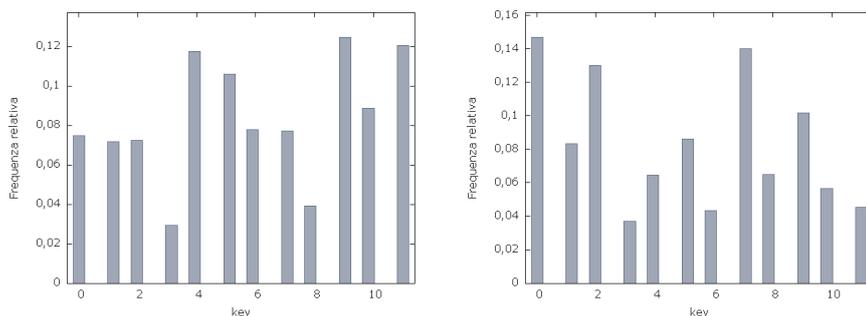


Figura 2

Quando la variabile *mode* assume valore 1, quindi la tonalità della chiave è maggiore, la chiave con frequenza relativa maggiore è Do maggiore, seguito da Sol e Re.

È interessante notare come la chiave di Do maggiore coincida sul pentagramma con la tonalità relativa di La minore e lo stesso accade per la chiave di Sol maggiore e Re maggiore, che coincidono con le rispettive chiavi relative di Mi minore e Si minore.

Di fatto, quindi, le tonalità più frequenti nel campione sono queste tre.

Le tonalità relative sono scale che hanno la stessa armatura, ovvero le stesse alterazioni; quindi, per esempio, la tonalità di Do maggiore avrà una rappresentazione sul pentagramma con le stesse note di La minore.

Danceability. La variabile *danceability* assume valore medio pari a 0,53969 e deviazione standard pari a 0,17782.

Osservando la distribuzione della *danceability* con un boxplot fattorizzato alla variabile *Period*, si può notare come la media della misura dell'adattamento di una canzone al ballo sia leggermente aumentata con il passare dei decenni.

È inoltre interessante notare la differenza tra il boxplot della *danceability* per le canzoni che non sono comparse nella classifica Billboard (con *target=0*) e il boxplot per le canzoni che sono invece comparse almeno una volta nel decennio nella classifica, considerate hit, (*target=1*).

Per le prime la media è pari a 0,47815 e il range interquartile è di 0,264; per le seconde la media è notevolmente più alta, pari a 0,60124, mentre il range interquartile è invece relativamente minore, pari a 0,206.

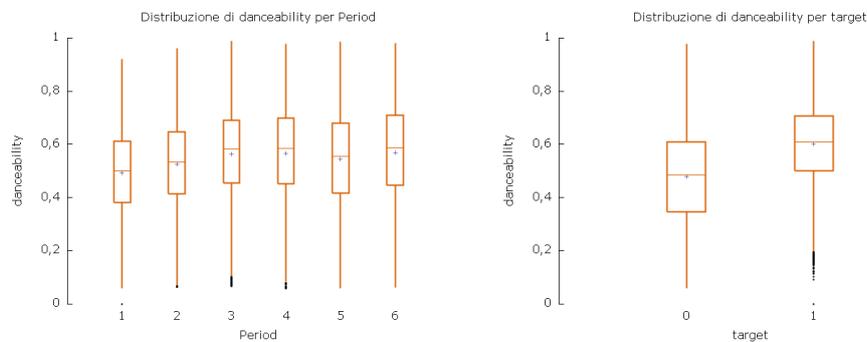


Figura 3

Energy. Dalla distribuzione di frequenza della variabile *energy* si osserva che il 49,37% dei brani musicali presenti nel campione assume un valore maggiore a 0,6 circa; questo indica che la maggior parte delle canzoni possiede un'elevata misura della percezione dell'intensità e attività della traccia.

Intervallo	Frequenza assoluta	Frequenza relativa	Cumulata
...
0,53558 - 0,57129	1889	4,60%	46,20%
0,57129 - 0,60699	1820	4,43%	50,63%
0,60699 - 0,64270	1947	4,74%	55,37%
...

È interessante notare, attraverso il boxplot dell'*energy* fattorizzato al *period*, come questa misura sia cambiata nel corso dei decenni: il valore medio di questa variabile relativo al decennio di riferimento, infatti, subisce un notevole aumento, passando da 0,44521 negli anni 1960-1969 fino ad arrivare a 0,66776 negli anni 2010-2019.

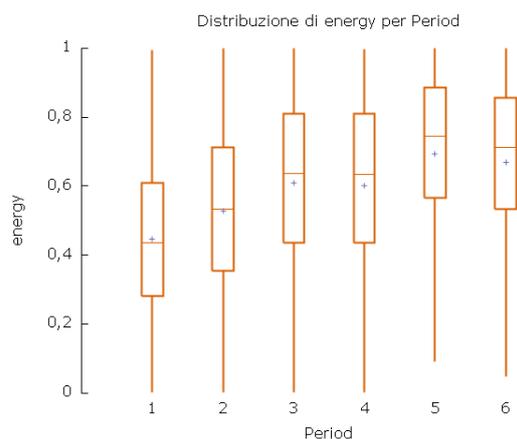


Figura 4

Acousticness. La media della variabile *acousticness*, riferita al campione complessivo, è pari a 0,36420; una misura relativamente bassa per una variabile che assume valori compresi tra 0,000 e 0,996.

La frequenza relativa delle tracce che assumono valore minore di 0,017786 è pari a 18,81%, ad indicare che quasi un quinto dei brani musicali presenti nel campione è caratterizzato da un livello di *acousticness* quasi nullo, quindi con molta probabilità si tratta di brani elettronici.

Inoltre il range interquartile e il coefficiente di variazione assumono valori piuttosto elevati, rispettivamente 0,63660 e 0,93057; questo indica un'alta variabilità rispetto al secondo quartile (o mediana) e un'alta dispersione dei dati rispetto al valore medio.

Osservando il boxplot rispetto alla variabile *period* si può notare che la media è diminuita drasticamente nel tempo, in particolare tra gli anni '60 e gli anni '80, durante i quali passa da 0,61556 a 0,29307.

Ancora più evidente è la riduzione della mediana: negli anni 1960-1969 assume valore pari a 0,683, nel periodo successivo diminuisce a 0,409 e negli anni 1980-1989 si riduce ulteriormente a 0,172; fino ad arrivare ad un valore di 0,06 circa nell'ultimo decennio.

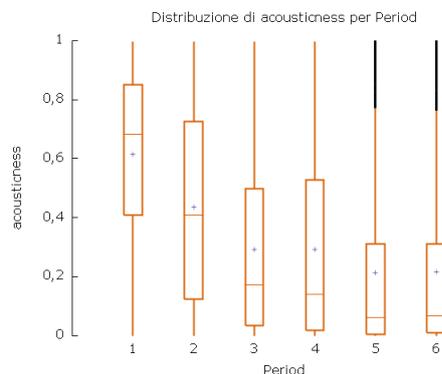


Figura 5

Loudness. Dalla distribuzione di frequenza si nota che tutte i brani del campione hanno valori di loudness compresi tra -50 dB e 4 dB, e in particolare il 90,8% delle osservazioni ha valore compreso tra -18 dB e -3 dB.

La variabile loudness ha media uguale a -10,222 dB e mediana pari a -9,257 dB, con scarto quadratico medio di 5,3116.

Speechness. La variabile speechness ha media pari a 0,07296 e mediana 0,0434, con scarto quadratico medio pari a 0,08 circa e un range interquartile di 0,0361; si può notare infatti, che la variabile si distribuisce con una rappresentazione molto schiacciata verso il valore 0.

Dalla funzione di ripartizione della variabile si ricava che il 99,67% delle osservazioni ha un valore di speechness minore di 0,66, e che il 97,58% presenta valori minori di 0,33.

In conclusione si può affermare che il dataset è composto quasi totalmente da brani con un'alta presenza melodica.

Liveness La variabile liveness ha media pari a 0,20153, mediana uguale a 0,132 e range interquartile pari a 0,167; osservando anche i dati della funzione di ripartizione si può affermare che il 94% del campione complessivo è composto da brani musicali con valori inferiori a 0,5 che, quindi, con molta probabilità, non sono suonati live.

Instrumentalness. La variabile *instrumentalness*, per tutte le 41106 osservazioni, presenta una media di 0,15442 e una mediana di 0,00012. Inoltre, osservando la distribuzione di frequenza si può notare che il 70,76% dei brani musicali non è una traccia strumentale, con un valore minore di 0,017857.

Valence. La variabile *valence*, che misura la positività trasmessa dalla traccia musicale, per tutte le 41106 osservazioni, assume valore medio pari a 0,54244 e una mediana pari a 0,558.

Inoltre, dalla distribuzione di frequenza è possibile notare come questa variabile assuma una distribuzione piuttosto regolare. Infatti, tutte le frequenze relative di ogni intervallo, pari circa a 0,035, hanno valori che variano tra il 2,5% ed il 5%, senza alcun valore anomalo.

È interessante notare come cambiano le statistiche descrittive della *valence* rispetto alla variabile *target*.

Se si prende come riferimento il sotto-campione dei brani musicali entrati in classifica Billboard, con *target*=1, la media della variabile *valence* è pari a 0,60958 con scarto quadratico medio di 0,23626.

Mentre se si prende come riferimento il sotto-campione con *target*=0, la media è pari a 0,4753 con scarto quadratico medio pari a 0,27946.

La stessa osservazione si può fare con riferimento alla variabile *period*: infatti, la media del periodo 1960-1969 è pari a 0,575 circa, nel periodo 1990-1999 è uguale a 0,538 circa ed infine nel periodo 2010-2019 si riduce a 0,444.

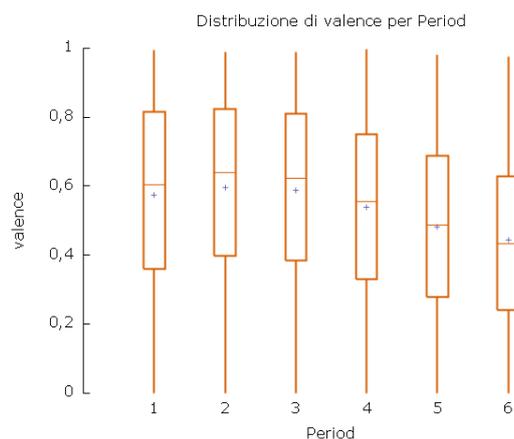


Figura 6

Chorus hit. Per ottenere un risultato coerente con la durata, la variabile *chorus hit* è stata convertita da secondi in millisecondi, moltiplicando il valore di ogni brano per 1000. Questa variabile assume valore medio pari a 40106 millisecondi e valore mediano pari a 35851.

When. Per una più facile interpretazione è stata introdotta nel campione una nuova variabile, *when*, data dal rapporto tra la variabile *chorus hit* e *duration ms*. Indica il momento in cui inizia il ritornello della canzone sul totale della durata della canzone stessa, è quindi un numero compreso tra 0 e 1 che misura a che punto della canzone inizia il primo ritornello. Se per esempio un brano ha $when = 0,5$, significa che il ritornello compare nella canzone per la prima volta esattamente a metà del brano.

Dalle statistiche descrittive si osserva che la variabile *when* presenta valore medio pari a 0,1941 e valore mediano pari a 0,16839.

Time signature. Ai fini dell'analisi è stato ritenuto opportuno modificare la variabile *time signature*, trasformandola in variabile dummy *is44* che assume valore 1 se la canzone è in 4/4 e valore 0 altrimenti.

Le canzoni in 4/4, difatti, rappresentano la larga maggioranza tra quelle considerate: esse costituiscono ben l'88,3% del campione.

Sections. La variabile *sections* è una variabile discreta che indica il numero di sezioni della traccia musicale: assume valore medio pari a 10,476 e mediana pari a 10; inoltre dalla distribuzione di frequenza si ricava che il 46,02% dei brani musicali è suddiviso in meno di 9 sezioni, i brani che hanno un numero di sezioni compreso tra 9 e 15 costituiscono il 45,85% e infine le canzoni che presentano più di 15 sezioni rappresentano solamente l'8,13% del campione complessivo.

5 Factor Analysis.

5.1 Definizione di nuove variabili:

5.1.1 La funzione di ripartizione inversa della Liveness.

La variabile *liveness2* è stata definita da script attraverso il comando:

`liveness2 = invcdf(z, liveness)`, che restituisce una nuova variabile con la funzione di ripartizione inversa di *liveness*.

Attraverso questa trasformazione si riesce ad ottenere una distribuzione che riesca a rafforzare l'effetto della variabile.

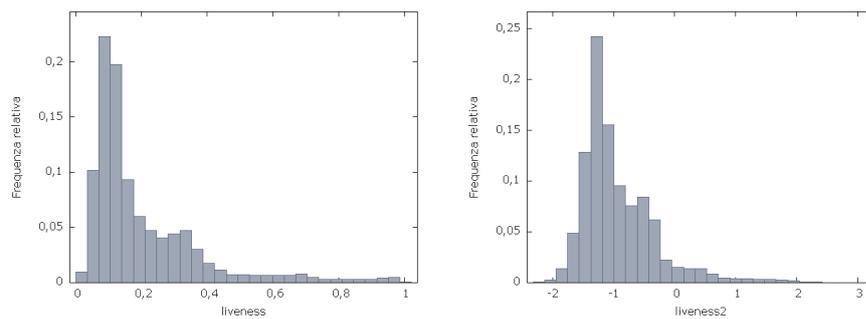


Figura 7

Difatti, come si vede dalla figura 10, la distribuzione della variabile non cambia, ma le osservazioni con valori di *liveness* alti, molto vicini a 1, ovvero le tracce che con molta probabilità sono suonate live, assumono valori positivi nella *liveness2*. Viceversa le tracce con valori *liveness* bassi, vicini allo 0, sono indicate nella variabile *liveness2* con valori negativi.

In questo modo si riesce ad accentuare l'effetto di questa variabile, indicando i brani esibiti live oppure registrati a seconda del valore *liveness2* maggiore o minore di 0.

5.1.2 La trasformazione logaritmica della Duration.

Una difficoltà che si riscontra con la variabile *duration ms* è legata alla sua distribuzione "leptocurtica": con una curtosi pari a 122,18 la curva risulta più appuntita rispetto a quella della distribuzione normale. Ciò è comprensibile, in quanto si tratta di una variabile continua con valori pressoché regolari e abituali, che si aggirano intorno a 3 o 4 minuti; ovvero, con un forte adensamento intorno al suo valore modale.

Allo scopo di facilitarne l'interpretazione è stata introdotta una nuova variabile *ld*, definita come il logaritmo della *duration ms*, attraverso il comando:
`ld = log(duration_ms).`

Le trasformazioni logaritmiche sono, infatti, usate per normalizzare una variabile che ha una distribuzione asimmetrica; queste tendono anche a ridurre gli effetti dei valori anomali o outliers.

La nuova variabile *ld* segue, infatti, una distribuzione approssimativamente normale.

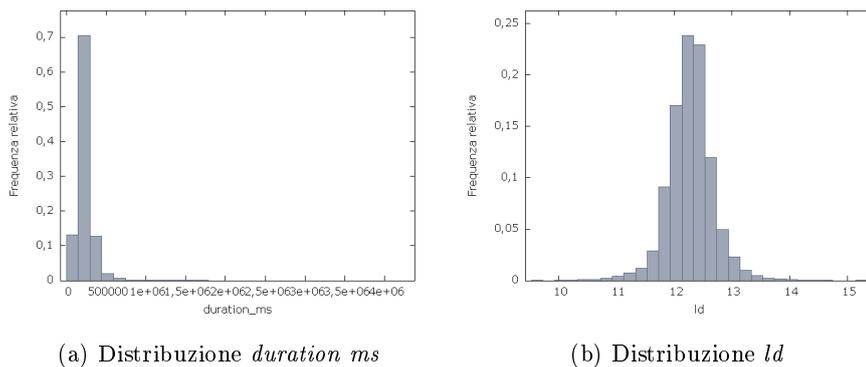


Figura 8

5.1.3 Le variabili Horns, Easy, Sharps

La variabile *key*, infatti, non fornisce nessuna informazione utile e misurabile ai fini dell'analisi, se non quali sono state le tonalità più utilizzate nei vari decenni.

È quindi opportuno trasformare questa variabile in modo che possa fornire informazioni più indicative sull'evoluzione dei brani musicali nel tempo.

Per esempio, è interessante sapere che molti tra gli strumenti a fiato sono in tonalità bemolle. Di conseguenza, brani composti in queste tonalità risultano essere preferibili per essere suonati con strumenti a fiato e lo stesso vale con tonalità diesis per gli strumenti a corda.

A questo punto, è necessario introdurre il Circolo delle quinte: una proprietà che nella teoria musicale permette di rappresentare la relazione tra le 12 tonalità in base al numero di alterazioni, diesis o bemolle, presenti nella chiave.

Il circolo delle quinte Il circolo delle quinte è raffigurato come un cerchio con dodici punti sulla circonferenza, i quali corrispondono alle 12 tonalità.

In questo modo, per esempio, si avrà la tonalità di Do maggiore nella posizione in alto, che è senza alterazioni, dopodiché, si procede verso destra contando i diesis presenti nella tonalità e verso sinistra contando i bemolle.

Nella seconda posizione a destra si trova la tonalità di Sol maggiore, che sul pentagramma ha una sola alterazione diesis; in quella successiva il Re maggiore, con due diesis e così via. La stessa cosa avviene nella parte sinistra della circonferenza, dove si avrà la tonalità di Fa maggiore, a seguire Si_b, Mi_b e così via; che hanno rispettivamente in chiave uno, due e tre bemolle.

Chiaramente, ogni tonalità minore si trova nella stessa posizione della sua chiave relativa maggiore.

Nella figura sottostante una chiara rappresentazione:

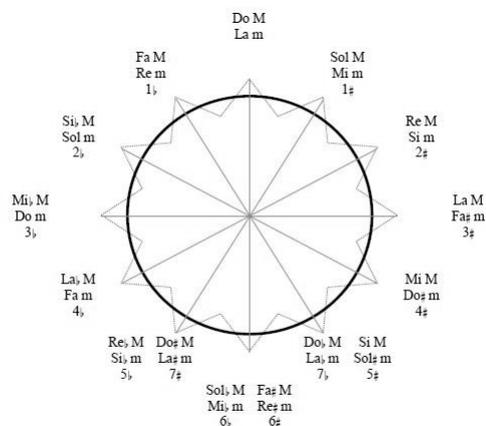


Figura 9

La variabile Sharps A questo punto, sull'editor di script, con il seguente codice, sono state definite due nuove matrici in funzione delle variabile *key*.

```
matrix sharps_maj = {0, -5, 2, -3, 4, -1, 6, 1, -4, 3, -2, 5}
matrix sharps_min = {-3, 4, -1, 6, 1, -4, 3, -2, 5, 0, -5, 2}
series sharps = mode ? replace(key, seq(0,11), sharps_maj) :
    replace(key, seq(0,11), sharps_min)
```

La matrice *sharps maj*, così come la matrice *sharps min*, è stata definita per ogni tonalità con il numero di diesis o il numero di bemolle, negativo, che la tonalità stessa contiene all'interno della scala.

Per esempio la scala di Do maggiore ha valore 0, Sol maggiore ha valore 1, Fa maggiore ha valore -1 e così via.

Dopodiché è stata definita la nuova variabile *sharps*, che associa ad ogni brano musicale del campione, sulla base del suo valore di *key*, il valore corrispondente della matrice *sharps maj* oppure *sharps min*, a seconda se il brano ha *mode* = 1 oppure *mode* = 0.

Le variabili Horns e Easy Grazie alla circonferenza sopra indicata è possibile utilizzare le funzioni trigonometriche seno e coseno per definire due nuove variabili di interesse, che possano fornire informazioni più della variabile *key*. Queste due nuove grandezze si basano, infatti, sul seno e sul coseno della variabile *sharps*.

La figura seguente rappresenta la circonferenza trigonometrica, a partire dalla quale le funzioni seno e coseno associano a ciascun angolo un valore compreso tra -1 e 1.

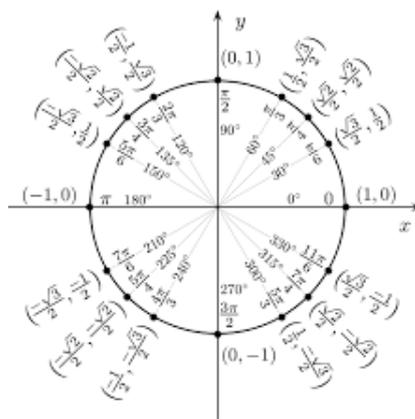


Figura 10

Ora, ruotando la circonferenza del circolo delle quinte in senso orario, è possibile associare ad ogni valore della variabile *sharps* un angolo, moltiplicandolo per $-\frac{\pi}{6}$, che equivale a dividere l'intera circonferenza 2π in 12 angoli.

In questo modo la funzione seno dell'angolo fornisce un'indicazione se il brano musicale si trova in una tonalità con più bemolle o più diesis: assumerà, infatti, un valore molto vicino a 1 se nella scala ci sono due, tre o quattro bemolle; se si tratta, quindi, di un brano adatto a strumenti a fiato.

Viceversa, assumerà valori molto vicini a -1 se nella scala sono presenti più diesis; trattandosi, quindi, di un brano più adatto agli strumenti a corda.

È quindi tramite la funzione seno che si può definire la variabile *horns*:

```
series horns = sin(-sharps * $pi/6)
```

Allo stesso modo, la funzione coseno dell'angolo indica se la tonalità del brano contiene molte alterazioni, che esse siano diesis o bemolle. Può essere quindi interpretata come la complessità della scala, e di conseguenza del brano.

Ed è quindi attraverso la funzione coseno che si può definire la variabile *easy*:

```
series easy = cos(-sharps * $pi/6)
```

5.2 Static factor analysis

Per ottenere la matrice F dei fattori è stato definito, per prima cosa, l'insieme X delle variabili da includere nell'analisi:

```
list X = danceability energy loudness speechiness acousticness  
       instrumentalness valence tempo ld when sections  
       liveness2 horns easy
```

L'analisi fattoriale è stata effettuata con la funzione "staticfactor", selezionando 3 fattori, con il metodo delle componenti principali ed utilizzando la matrice delle correlazioni e la varimax rotation; come è possibile vedere dal comando dello script eseguito⁵:

```
bundle b = staticfactor(X, 3, 1, 1, 1, 0, 0)  
list F = SF_factors(&b)
```

In particolare la varimax rotation è un tipo di rotazione ortogonale che massimizza la varianza delle saturazioni delle variabili all'interno di ogni fattore. Per ogni fattore tende a far aumentare le saturazioni già elevate e a far diminuire quelle più basse. In questo modo si avranno solo saturazioni prossime a 1 e saturazioni prossime a 0.

La tabella che segue mostra la matrice F dei fattori con k righe e p colonne, dove $k = 14$ è il numero di variabili incluse nel modello e $p = 3$ è il numero di fattori estratti.

⁵È opportuno specificare che cosa indicano i parametri nell'argomento della funzione: `staticfactor(X, 3, 1, 1, 1, 0, 0)`.

Il primo parametro, in questo caso la X , indica la lista delle variabili incluse, il numero successivo deve indicare il numero di fattori, il secondo numero definisce il metodo di stima dei fattori (per esempio il numero 1 corrisponde al metodo delle componenti principali) e, infine, i successivi danno la possibilità di applicare diverse opzioni, tra cui quella di usare la varimax rotation oppure usare la matrice delle covarianze al posto della matrice delle correlazioni.

	Load01	Load02	Load03
danceability	0,1727	0,0114	0,8452
energy	0,9050	0,0215	0,1013
loudness	0,8254	-0,0131	0,2059
speechiness	0,1845	-0,0532	0,0515
acousticness	-0,7868	-0,1398	-0,1318
instrumentalness	-0,3310	0,0585	-0,4663
valence	0,2785	-0,1726	0,6983
tempo	0,4020	-0,0048	-0,2060
ld	0,0890	0,8986	-0,0407
when	-0,0835	-0,7532	-0,0756
sections	-0,0517	0,8864	-0,0780
liveness2	0,2967	-0,1248	-0,3891
horns	-0,2338	0,0414	0,1197
easy	-0,0566	-0,0709	-0,1228

L'interpretazione dei fattori viene effettuata andando a controllare cosa esprimono le variabili che correlano con essi in modo considerevole.

È interessante notare come il primo fattore sintetizzi in modo eccellente le variabili *energy*, *loudness* e, negativamente, *acousticness*.

Il primo fattore può quindi essere interpretato come misura dell'energia, dell'intensità, della rumorosità della traccia, e di quanto la traccia sia "non acustica".

Il secondo fattore influenza in modo consistente le variabili *ld* e *sections*, con delle saturazioni pari a circa 0,9 per entrambe.

Inoltre spiega in modo negativo la variabile *when*, con una saturazione pari a -0,7532.

Queste variabili fanno tutte riferimento alla durata e alla struttura del brano musicale: il secondo fattore può quindi essere interpretato come una misura della complessità e della lunghezza della canzone.

Il terzo fattore, infine, riassume in maniera considerevole le variabili *danceability* e *valence*, rispettivamente con delle saturazioni pari a 0,845 e 0,6983.

Il terzo fattore può quindi essere interpretato come una misura della spensieratezza e della festosità del brano musicale. La tabella che segue mostra che la percentuale di informazione spiegata dai fattori è pari a 47,60%:

Eigenvalue 1: 3,0296 (0,2164, cum = 0,2164)

Eigenvalue 2: 2,2601 (0,1614, cum = 0,3778)

Eigenvalue 3: 1,3737 (0,0981, cum = 0,4760)

Dopo aver ottenuto la matrice F può essere opportuno verificare che il numero di fattori scelto sia adeguato. Mediante il grafico dello scree-test è possibile notare che la curva cambia pendenza e comincia ad appiattirsi dopo il terzo autovalore. Di conseguenza si può affermare che il numero p di fattori adeguato è 3.

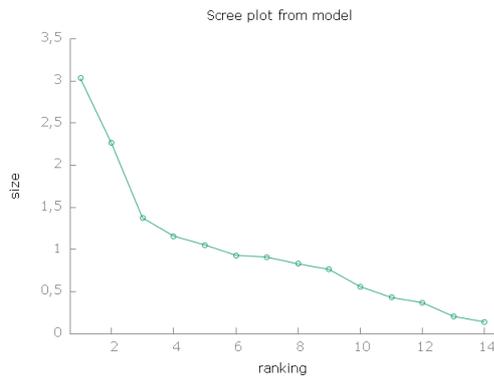


Figura 11: Scree-test

5.3 Risultati

Come detto in precedenza l'obiettivo di questa analisi è quello di studiare lo sviluppo diacronico di caratteri ed elementi stilistici di brani musicali.

I grafici seguenti mostrano come ogni fattore si sia evoluto nel tempo, indicato per decenni, secondo la variabile *period*:

- **Factor_01** È interessante notare come il primo fattore, ossia la misura dell'energia e dell'intensità della traccia, abbia subito un notevole aumento a partire dagli anni '70 a differenza del decennio precedente. Questo incremento è molto probabilmente legato all'avvento del punk rock e dell'heavy sul mercato musicale, proprio in quegli anni. Inoltre questo trend non si è mai interrotto, anzi si registra una crescita anche a cavallo tra gli anni '90 e gli anni 2000, probabilmente dovuta alla diffusione su scala mondiale della musica EDM (Electronic Dance Music).

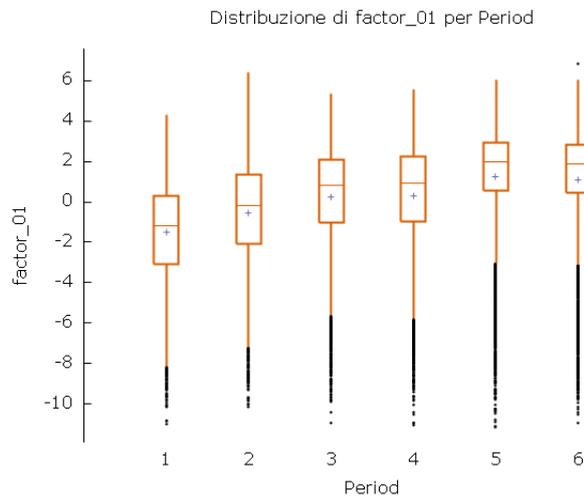


Figura 12

- **Factor_02** Diverso è il boxplot relativo al secondo fattore: in questo caso è chiaro che la misura della complessità della struttura e della durata di una canzone sia rimasta più o meno costante negli anni, se non per un leggero aumento a partire dagli anni '70.

Questo è molto probabilmente dovuto agli strumenti di ascolto della musica dell'epoca.

Negli anni '60 si ascoltava musica prevalentemente dai dischi in vinile 45 giri, la particolarità dei 45 giri è che potevano contenere brani della durata massima di circa 4 minuti. Di conseguenza le canzoni che venivano incise dovevano necessariamente durare meno di 4 minuti.

Verso la fine degli anni settanta, i 45 giri perdono quote di mercato a favore degli LP (long playing) o 33 giri. Questi ultimi si compongono in genere di due facciate, ciascuna delle quali può contenere 30 o 40 minuti circa di brani, garantendo molta più libertà agli artisti nel decidere la durata delle loro canzoni.

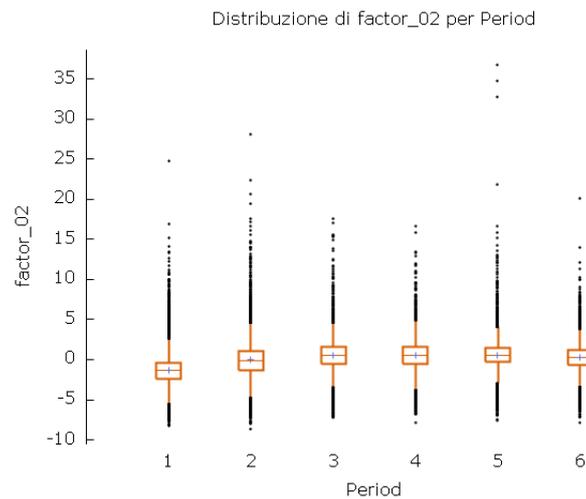


Figura 13

- **Factor_03** Riguardo il terzo fattore, invece, è possibile notare un modesto incremento nel ventennio tra i '60 e gli '80.

Tuttavia è più difficile giungere ad una conclusione altrettanto eclatante in quanto la misura della vivacità e della festosità del brano musicale non risulta significativamente cambiata negli anni.

Infatti, comprensibilmente, in ogni genere musicale, e di conseguenza in ogni periodo, sono presenti brani che rispecchiano in modo ottimale questo terzo fattore, caratterizzati quindi da un alto valore di *danceability* e *valence*.

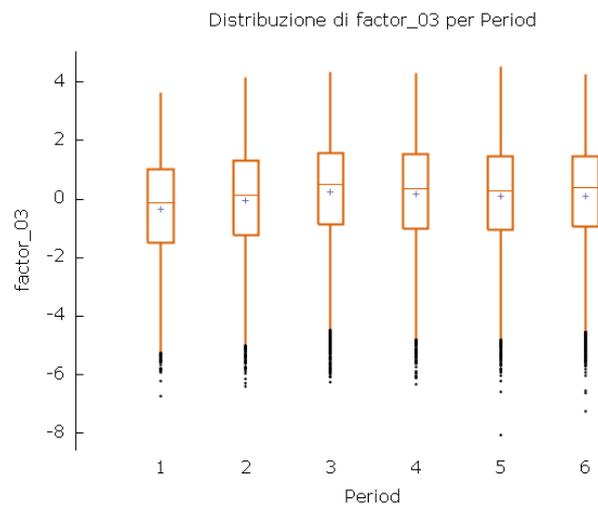


Figura 14

6 Conclusioni

In particolare, la tesi si sofferma su un'analisi diacronica di alcune caratteristiche e stilemi tecnici di brani musicali: è stato quindi studiato il cambiamento che questi elementi hanno avuto nei vari decenni, dal 1960 fino al 2019.

Lo studio è stato effettuato secondo la tecnica dell'analisi fattoriale, attraverso la quale è stato possibile riassumere una buona parte dell'informazione fornita dalle variabili in tre grandezze latenti, dette "fattori".

È stato evidenziato, nel corso di questo elaborato, come queste tre grandezze abbiano subito un'evoluzione più o meno accentuata nel tempo, dimostrato dai risultati relativi al *Factor_01*, al *Factor_02* e al *Factor_03*.

I risultati di questo studio dimostrano come la misura dell'energia e dell'intensità della traccia, contenuta nel primo fattore, abbia subito un notevole aumento a partire dagli anni '70 e non si sia mai interrotto, anzi si è registrata una crescita notevole a cavallo tra gli anni '90 e gli anni 2000.

È stato possibile anche rilevare l'andamento più o meno costante negli anni del secondo fattore, che indica una misura della complessità della struttura e della durata delle canzoni. Questo andamento è tuttavia caratterizzato da un lieve aumento a partire dagli anni '70, presumibilmente dovuto all'evoluzione degli strumenti attraverso cui si ascoltava musica in quegli anni.

Per quanto riguarda i risultati relativi al terzo fattore, ovvero la misura della vivacità e della festosità dei brani musicali, l'unica variazione rilevante è un modesto incremento tra gli anni '60 e gli anni '80, con un andamento complessivo che rimane generalmente costante.

Riferimenti bibliografici

- [1] Molanphy, C. (1 agosto 2013), *How The Hot 100 Became America's Hit Barometer*, The Record: NPR, (Ultimo accesso: 16 settembre 2021) <https://www.npr.org/sections/therecord/2013/08/16/207879695/how-the-hot-100-became-americas-hit-barometer>.
- [2] Jackman, S. (2005), *An Introduction to Factor Analysis*.
- [3] Anderson, T. W. (2003), *An Introduction to Multivariate Statistical Analysis*, Third Edition.
- [4] Albano, R., Molino, D. (2011), *Analisi fattoriale per le scienze sociali*, Prima Edizione.