

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA

Dipartimento di Filosofia, Sociologia, Pedagogia e Psicologia Applicata (FISPPA)

**Corso di Laurea in Scienze Psicologiche Sociali e del Lavoro
(L3)**

Elaborato finale

**Sviluppo e applicazione di un test Raven-like per la valutazione
dell'intelligenza fluida**

Development and application of a Raven-like test for the fluid intelligence assessment

Relatrice

Prof.ssa Debora de Chiusole

Laureanda: Elisa Floramo

Matricola: 2011034

Anno Accademico 2022/2023

INDICE

INTRODUZIONE.....	1
CAPITOLO 1: Background teorico di riferimento.....	3
1.1 Matrici Raven-like e Metodi di Costruzione	
1.1.1 <i>Metodi di costruzione manuale</i>	
1.1.2 <i>Procedure di generazione automatica</i>	
CAPITOLO 2: Classificazione sistematica delle regole generative utilizzate per la costruzione di matrici Raven-like.....	7
CAPITOLO 3: Costruzione di un test Raven-like basata su regole generative e sulla Knowledge Space Theory.....	13
3.1 La Knowledge Space Theory	
3.1.1 <i>Struttura, stati e dominio di conoscenza</i>	
3.2 L'analisi cognitiva del compito	
3.2.1 <i>Costruzione delle skill-map</i>	
CAPITOLO 4: Studio empirico.....	19
4.1 Obiettivo	
4.2 Procedura e strumenti	
4.3 Partecipanti	
4.4 Metodi	
4.5 Risultati	
CAPITOLO 5: Discussione.....	27
BIBLIOGRAFIA.....	29

INTRODUZIONE

Il presente elaborato ha l'obiettivo di costruire un test per la valutazione dell'intelligenza fluida attraverso la generazione automatica di stimoli guidata da regole. Il lavoro verrà sviluppato entro il riferimento teorico delle procedure formali della *Knowledge Space Theory* (KST; Falmagne, Koppen, Villano, Doignon & Johannessen, 1990), una teoria matematica che ha avuto successo nello sviluppo di sistemi di intelligenza artificiale per la valutazione della conoscenza degli individui poiché permette di creare test adattivi per garantire un processo graduale e personalizzato di valutazione e apprendimento.

Il lavoro si suddivide in cinque capitoli. Il Capitolo 1 presenta i principali metodi di costruzione di test Raven-like riscontrabili nella letteratura scientifica di riferimento. Il Capitolo 2 riporta una classificazione sistematica delle regole generative, riscontrabili ad oggi in letteratura, utilizzate per la costruzione delle matrici. Segue il Capitolo 3, in cui si illustrano i principali aspetti teorici ed applicativi della *Knowledge Space Theory*. Dato il particolare interesse per la seguente tesi, si approfondisce uno dei metodi di costruzione delle così-dette strutture di conoscenze, ovvero l'analisi del compito cognitivo (CbKST; Falmagne, Koppen, Villano, Doignon & Johannessen, 1990). Tale metodo, qui applicato a matrici Raven-like, consente di generare strutture sulla base della definizione di regole o abilità sottostanti la risoluzione di un insieme di item. Nel Capitolo 4 si descrive lo studio empirico condotto al fine di testare l'equivalenza di matrici Raven-like generate sulla base di una serie di regole. Infine, il lavoro si conclude con il Capitolo 5, in cui si discutono i risultati ottenuti nella ricerca.

CAPITOLO 1

BACKGROUND TEORICO DI RIFERIMENTO

1.1 Matrici Raven-like e Metodi di Costruzione

Nella letteratura scientifica si ritrovano numerosi esempi di test di problem-solving per la valutazione dell'intelligenza fluida degli individui, ovvero la capacità del pensiero astratto che viene associata all'elasticità mentale e che non dipende da nozioni pre-acquisite, ma è geneticamente determinata (Cattell & Horn, 1966, 1978). I problemi che compongono questi test sono tipicamente costituiti dalle così dette *matrici*, ovvero strutture grafiche composte da celle, ognuna delle quali contiene degli elementi grafici la cui logica di composizione guida la scelta della cella mancante, posta in basso a destra, tra una serie di opzioni a disposizione presenti in calce alla rappresentazione medesima. I test utilizzati per la misurazione dell'intelligenza fluida sono *culture free*, in quanto permettono di ottenere un'inferenza indipendentemente dal livello di scolarizzazione o dalla cultura di appartenenza, poiché sono composti da una serie di stimoli non verbali.

Ad oggi, si trovano svariati metodi di costruzione delle matrici, anche molto diversi tra loro. Nelle sezioni che seguono si dà una breve descrizione di alcuni di questi metodi.

1.1.1 Metodi di costruzione manuale

Tra i metodi classici di composizione delle matrici si enumera la costruzione manuale, che consiste nel disegnare a mano un certo numero di stimoli. Il test più diffuso per misurare l'intelligenza fluida che è stato generato seguendo questa modalità è quello delle Matrici Progressive di Raven (MPR; Raven & Court, 1938), in cui il soggetto deve indicare quale fra le alternative di risposta è quella corretta, ovvero è quella che completa la logica della matrice. Tra le alternative di risposta vi sono, oltre che la risposta corretta anche un certo numero di risposte errate, chiamate distrattori.

Esistono tre versioni del test. Le Matrici Progressive Standard (MPS; Raven, 1938) sono composte da una serie di 60 item suddivisi in cinque sottogruppi (chiamati blocchi e denominati con le prime cinque lettere dell'alfabeto italiano) che hanno difficoltà crescente. Le Matrici Progressive Avanzate (MPA; Raven & Court, 1962) presentano problemi più complessi rispetto alle precedenti e sono composte da 36 item. Entrambe queste versioni sono disegnate con inchiostro nero su sfondo bianco. Le Matrici Progressive Colorate (MPC; Raven, 1938) vengono somministrate ai bambini e ai soggetti con difficoltà cognitive; sono formate da 36 item e suddivise in tre blocchi denominati rispettivamente A, AB e B. A differenza delle precedenti, sono disegnate su sfondo colorato ad eccezione degli ultimi elementi del blocco B.

Il punteggio finale in tutte e tre le versioni del test si ottiene dalla somma delle risposte corrette ad ogni item, e dalla conversione in punti percentili. Si ottiene così una classificazione del livello di intelligenza fluida del soggetto rispetto alla sua popolazione di riferimento. In particolare, la classificazione consiste in cinque gradi progressivi, da abilità molto superiori alla media ad abilità molto inferiori alla media.

Per la costruzione di queste tipologie di matrici, tuttavia, non sono state seguite delle linee guida sistematiche ed omogenee, il che rende la struttura dei test ridondante a causa dell'elevato numero di classi di equivalenza.

1.1.2 Procedure di generazione automatica

Per compensare il numero limitato delle matrici costruite manualmente, sono state sviluppate delle procedure di generazione automatica. Tali procedure possono basarsi su una serie di “regole” oppure mediate da algoritmi di intelligenza artificiale. Nel presente paragrafo verranno descritte queste due modalità e verranno forniti degli esempi per ciascuna di esse.

Per quanto riguarda la generazione automatica guidata da regole, un esempio sono le Matrici di Sandia (Harris, McMillan, Listyg, Matzen & Carter, 2020), ovvero problemi composti da matrici Raven-like generati tramite un apposito software scritto in linguaggio Java (J2SE JRE 6). Le matrici di Sandia si basano su specifiche operazioni mentali, ovvero regole prestabilite che, combinate tra loro, consentono di generare un numero elevato di stimoli. Per la composizione delle matrici sono state utilizzate cinque tipologie di trasformazioni che coinvolgono caratteristiche quali forma, riempimento, orientamento, dimensione e numero e ogni trasformazione poteva avere una diversa direzione. Alcune delle forme utilizzate dal software sono ovali, triangoli, rettangoli e trapezi. Inoltre, per ogni forma ci sono cinque possibili riempimenti, dimensioni, orientamenti e numerosità. Dalla combinazione di tutti gli attributi sopraelencati è possibile ottenere un vasto numero di matrici, tutte diverse tra loro. Il processo di validazione delle Matrici di Sandia e le analisi delle prestazioni degli individui a questo test si basa sui modelli dell'Item Response Theory (IRT; Hambleton, Swaminathan & Rogers, 1991). Oltre alle matrici di Sandia, che rappresentano solo un esempio, in letteratura si trovano molte altre tipologie di test costruiti automaticamente sulla base di regole generative (si veda ad esempio Matzen, Benz, Dixon, Posey, Kroger & Speed, 2010; Arendasy & Sommer, 2005). Nel presente lavoro verrà utilizzata questa tipologia di costruzione di matrici Raven-like.

Negli ultimi anni per la costruzione e risoluzione di problemi formati da matrici, si è fatto uso dell'intelligenza artificiale (si veda ad esempio Wang & Su, 2015; Arendasy, Sommer & Elsevier, 2005) che permette di generare un numero molto consistente di matrici simili alle MPR. Particolare attenzione viene rivolta alla generazione di matrici autentiche (simili ai problemi disegnati

manualmente), interessanti (diverse in termini di difficoltà) e non ambigue. L'intelligenza artificiale è utile poiché permette di generare centinaia di problemi che variano per difficoltà in modo estremamente graduale e sistematico. Per creare le matrici utilizzando queste tecniche è necessario partire da una rappresentazione astratta di tipo formale degli attributi (o componenti) coinvolti. Successivamente, si stabilisce una relazione tra gli attributi e le matrici e, infine, si aggiungono i distrattori. Wang et al. al fine di creare un database di elementi da utilizzare per la creazione di nuove matrici, analizzarono le MPA: considerarono singolarmente ogni elemento figurativo presente nelle matrici (o) e utilizzarono un insieme di attributi (α) per descriverne le proprietà. Ogni attributo α di o assumeva un valore $\tau(o, \alpha)$. Infine, per catalogare le matrici, si avvalsero di un predicato $\rho(o, i, j)$ che esprimeva che l'oggetto o era posizionato nella riga i e nella colonna j della matrice. Per la generazione degli stimoli si avvalsero dell'algoritmo in Java SE 1.6.

CAPITOLO 2

CLASSIFICAZIONE SISTEMATICA DELLE REGOLE GENERATIVE UTILIZZATE PER LA COSTRUZIONE DI MATRICI RAVEN-LIKE

Le *regole generative*, chiamate anche *operazioni mentali*, *tipologie di problemi* o *relazioni*, sono le procedure utilizzate per costruire le matrici di un test Raven-like. Rappresentano la grammatica generativa che comprende i paradigmi necessari alla formalizzazione delle matrici. Grazie alla combinazione di queste regole di composizione si possono creare molti stimoli con pattern e caratteristiche differenti al fine di ottenere un test completo in grado di valutare in maniera accurata l'intelligenza fluida di un individuo indagando diverse abilità.

La Tabella 1 riporta una classificazione sistematica delle regole riscontrabili, ad oggi, nella letteratura scientifica di riferimento. Si è deciso di operare questa tassonomia, con l'obiettivo di giungere a una classificazione il più obiettiva e generale possibile, che tenesse conto del lavoro di ricerca di più esperti del settore. Tale classificazione servirà poi per la costruzione automatica di un unico data base di matrici Raven-like, diversificate tra loro per caratteristiche e gradi di difficoltà, adatto alla valutazione dell'intelligenza fluida di individui in un range di età il più ampio possibile. Il data base di matrici può essere utilizzato per la costruzione di un test adattivo computerizzato per la valutazione dell'intelligenza fluida che, sulla base delle risposte fornite agli item, seleziona e somministra le matrici adatte al particolare individuo che si sta valutando.

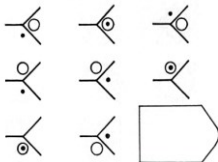
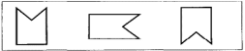
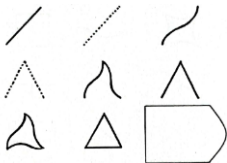
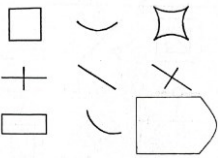
Per realizzare tale classificazione sistematica è stata inizialmente effettuata una ricerca bibliografica, inerente alla costruzione di problemi composti da matrici, tramite il portale *Scopus*. Dalla combinazione di alcune parole chiave, come per esempio “regole generative”, “matrici”, “operazioni mentali”, “Raven-like”, sono stati selezionati alcuni articoli scientifici di cui si è letto l'abstract, il che ha permesso di selezionare i lavori più pertinenti che sono stati studiati ed analizzati nel dettaglio. Si è scoperto che nel tempo e da diversi autori sono state utilizzate svariate modalità di costruzione di test Raven-like, le quali sono state accuratamente passate in rassegna, classificate in maniera sistematica e inserite ordinatamente nella Tabella 1.

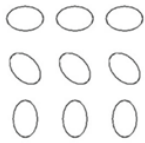
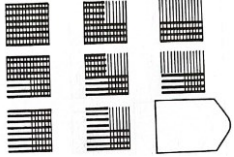
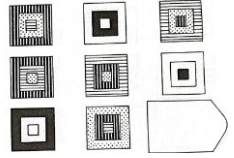
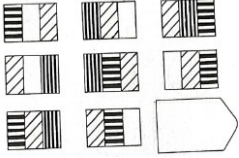
Per ogni regola generativa (righe della tabella), la Colonna 1 riporta il nome, la Colonna 2 indica la macro-categoria di riferimento, seguono la descrizione (Colonna 3) e un esempio grafico (Colonna 4). Le macro-categorie che si considerano sono:

- *regole deduttive*, ovvero regole che implicano un procedimento logico-deduttivo attraverso cui si parte da certe premesse (gli attributi presenti nelle celle della matrice in esame) e attraverso un processo deduttivo si giunge ad una conclusione conseguentemente necessaria;

- *regole visuospatiali*, che si riferiscono ai processi legati alla codifica e alla memorizzazione della rappresentazione grafica di un oggetto tramite la percezione visiva nello spazio;
- *regole geometriche*, che si fondano sui principi base della geometria;
- *regole verbali-analitiche*, che richiedono una rappresentazione proposizionale degli stimoli per trovare la soluzione del problema;
- *trasformazione*, che consiste nel cambiamento di uno o più attributi degli oggetti presenti nelle celle lungo le righe o le colonne della matrice.

	REGOLA	MACROCATEGORIA	DESCRIZIONE	ESEMPIO
1	CONGIUNZIONE "AND", INTERSEZIONE	PROBLEMI DI INFERENZA	La terza cella di ogni riga e colonna contiene solo le forme che erano presenti in entrambe la prima e la seconda cella della stessa riga o colonna.	
2	DISGIUNZIONE "OR", RELAZIONE D'OGGETTO, SUPERIMPOSIZIONE	PROBLEMI DI INFERENZA	La terza cella di ogni riga o colonna contiene tutte le forme che erano apparse nella prima o nella seconda cella di quella riga o colonna.	
3	SUPERIMPOSIZIONE CON POSIZIONAMENTO CONDIZIONALE	PROBLEMI DI INFERENZA	La terza cella di ogni riga o colonna contiene tutte le forme che erano apparse nella prima o nella seconda cella di quella riga o colonna, ma alcuni elementi appaiono in primo piano e altri in secondo piano.	
4	DISGIUNZIONE ESCLUSIVA "XOR", SUPERIMPOSIZIONE CON CANCELLAZIONE	PROBLEMI DI INFERENZA	La terza cella di ogni riga o colonna contiene le forme che erano apparse nella prima cella di quella riga o colonna ma non nella seconda cella e vice versa.	
5	ADDIZIONE OGGETTUALE	REGOLE VISUOSPAZIALI	Il processo di unire visivamente l'oggetto presente nella prima cella all'oggetto presente nella seconda cella.	

6	SOTTRAZIONE OGGETTUALE	REGOLE VISUOSPAZIALI	Il processo di sottrarre visivamente l'oggetto presente nella seconda cella all'oggetto presente nella prima cella.	
7	MOVIMENTO, SERIALITÀ	REGOLE VISUOSPAZIALI	La percezione di un movimento richiede la presenza di uno sfondo stabile che funge da riferimento. Il movimento è incrementale fotogramma dopo fotogramma in riferimento allo sfondo stabile.	
			Il movimento viene definito di "secondo livello" se si applica in maniera diversa a due oggetti distinti.	
8	ROTAZIONE, CAMBIAMENTI DI ORIENTAMENTO	REGOLE VISUOSPAZIALI	La rotazione mentale di un oggetto per rendere compatibili oggetti orientati in modi diversi.	
9	TRASFORMAZIONE MENTALE	REGOLE VISUOSPAZIALI	L'esecuzione di un'operazione di trasformazione implicita su un oggetto che presenta una determinata caratteristica dedotta delle caratteristiche di un secondo oggetto.	
10	TRASFORMAZIONE MENTALE CON INDIZIO	REGOLE VISUOSPAZIALI	L'esecuzione di un'operazione di trasformazione su un oggetto che presenta una determinata caratteristica sulla base delle caratteristiche di un secondo oggetto che funge da indizio.	

11	COMPLETEZZA, RELAZIONE UNARIA	REGOLE GEOMETRICHE	Lungo ogni riga, l'elemento nella prima cella determina il secondo (tramite operazione unaria f), che a sua volta determina il terzo (tramite operazione unaria g).	
12	PROGRESSIONE QUANTITATIVA, CAMBIAMENTI DI NUMEROSITÀ	REGOLE VERBALI ANALITICHE	Avviene un incremento o un decremento quantitativo nel numero di caratteristiche in riga e/o in colonna.	
13	PROGRESSIONE QUANTITATIVA A COPPIE	REGOLE VERBALI ANALITICHE	Ciascuna cella viene divisa in due sezioni (sopra-sotto, destra- sinistra) e le trasformazioni si riferiscono a una sezione o all'altra separatamente.	
14	DISTRIBUZIONE DI DUE VALORI	REGOLE VERBALI ANALITICHE	Due valori di un attributo categorico sono distribuiti lungo una riga in cui il terzo valore è nullo o categoricamente incongruente con le altre caratteristiche.	
15	DISTRIBUZIONE DI TRE VALORI	REGOLE VERBALI ANALITICHE	Tre valori di un attributo categorico vengono distribuiti lungo una riga o una colonna. Per esempio, ogni riga può contenere un triangolo, un cerchio e un quadrato.	
16	CAMBIAMENTI DI FORMA	TRASFORMAZIONE	Avviene un cambiamento della tipologia di forma.	
17	CAMBIAMENTI DI RIEMPIMENTO	TRASFORMAZIONE	Avviene un cambiamento nell'ombreggiatura o texture interne alle figure.	

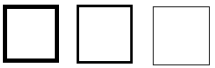
18	CAMBIAMENTI DI DIMENSIONI	TRASFORMAZIONE	Avviene un cambiamento nell'estensione della lunghezza per le forme aperte e dell'area per le forme chiuse.	
19	CAMBIAMENTI DI BORDO	TRASFORMAZIONE	Avviene un cambiamento che coinvolge il perimetro della figura.	

Tabella 1. Classificazione sistematica delle regole generative utilizzate per la costruzione delle matrici.

Per compiere la classificazione sono stati analizzati diversi articoli rilevanti riguardo al tema trattato: i problemi di inferenza sono stati estrapolati dagli studi di Harris et al. (2020) e Matzen et al. (2010) sulla generazione automatica degli stimoli guidata da regole; per le regole visuospatiali si è fatto riferimento allo studio di Deshon et al. (1995) sulle Matrici Progressive Avanzate di Raven; lo studio di Martin et al. (2005) ha portato alla catalogazione delle regole verbali analitiche; infine le regole appartenenti alle macrocategorie delle trasformazioni e delle regole geometriche sono state elaborate in autonomia affinché la classificazione fosse completa.

Grazie ai precedenti lavori trovati nella letteratura scientifica, è stato possibile costruire una tassonomia completa ed esaustiva delle regole generative utilizzate per la costruzione delle matrici.

CAPITOLO 3

COSTRUZIONE DI UN TEST RAVEN-LIKE BASATA SU REGOLE GENERATIVE E SULLA KNOWLEDGE SPACE THEORY

3.1 La Knowledge Space Theory

La *Knowledge Space Theory* (KST; Doignon & Falmagne, 1999) è una teoria matematica che ha avuto successo nella valutazione della conoscenza e dell'apprendimento degli individui. Più recentemente è stata applicata anche alla valutazione psicologica nell'ambito clinico (si veda, ad esempio, (Serra, Spoto, Ghisi & Vidotto, 2017) e nell'ambito neuropsicologico (si veda, ad esempio, (Stefanutti, de Chiusole & Brancaccio, 2021). L'aspetto distintivo della teoria dipende dal fatto che sancisce il passaggio da una modalità di misurazione della conoscenza di tipo quantitativo ad una di tipo qualitativo, ovvero non numerico. Inoltre, si basa su modelli formali di natura probabilistica che consentono di ottenere feedback dettagliati e personalizzati, al fine di delineare percorsi di apprendimento individualizzati secondo le esigenze di ogni singolo individuo.

Nel presente lavoro si intende utilizzare la KST per costruire un test Raven-like adatto alla valutazione dell'intelligenza fluida. Nelle sezioni che seguono verranno descritti i concetti alla base della teoria.

3.1.1 Struttura, stati e dominio di conoscenza

La KST si basa sull'assunto che la *struttura di conoscenza* di un *dominio di conoscenza* è la collezione degli *stati di conoscenza* latenti presenti in una popolazione. Lo stato di conoscenza è l'insieme dei problemi che un soggetto è in grado di risolvere entro un dominio, in un determinato momento. Sotto particolari proprietà della struttura di conoscenza, uno stato di conoscenza si caratterizza univocamente da una *frangia esterna* e da una *frangia interna*: la prima è il sottoinsieme di problemi che il soggetto "è pronto ad apprendere" perché ne possiede i prerequisiti, invece la seconda comprende i problemi, fra quelli che appartengono al suo stato di conoscenza, che il soggetto ha appreso per ultimi.

La struttura di conoscenza costruita per un particolare dominio di conoscenza può essere impiegata per la valutazione adattiva della conoscenza. Infatti, a partire dalle risposte date dal soggetto è possibile prevedere le risposte future. In questo modo si viene a costruire una procedura interattiva di valutazione in cui la presentazione degli item dipende strettamente dal livello di conoscenza del rispondente, al fine di rendere la valutazione il più accurata ed efficiente possibile. Questa modalità di valutazione consente di risparmiare risorse in termini cognitivi e temporali, poiché limita il numero di domande poste al rispondente.

3.2 L'analisi cognitiva del compito

L'aspetto più delicato, nonché quello più importante, per l'applicazione della teoria riguarda la costruzione della struttura di conoscenza per un particolare dominio di conoscenza. Ad oggi, esistono diversi metodi per costruire le strutture di conoscenza; nel presente lavoro sono state usate quelle che si basano sull'analisi cognitiva del compito. Questo metodo prevede la realizzazione di una *skill-map*, ovvero di una funzione che associa una collezione di item ad una collezione di abilità. A partire da una *skill-map* è possibile poi costruire una struttura di competenza e delineare la relativa struttura di conoscenza. Il quadro teorico di riferimento in cui questa "tecnica" si è sviluppata è un'estensione cognitiva della KST chiamata *competence-based Knowledge Space Theory* (CbKST; Falmagne, Koppen, Villano, Doignon & Johanessen, 1990). La CbKST consente di associare ogni stato di conoscenza uno stato di competenza, ovvero integra il livello di performance con un livello di competenza, in modo tale da poter individuare le abilità necessarie per spiegare i pattern di risposta del soggetto.

3.2.1 Costruzione delle *skill-map*

Per costruire le *skill-map* delle matrici di Raven si è partiti da una ricerca bibliografica per trovare delle mappature già presenti nella letteratura scientifica di riferimento. Sono state trovate solo una "skill-map" sviluppata per le MPA (Deshon, Chan & Weissbein, 1995) e due per le MPS (Matzen, Benz & Dixon, 2010; Moroncelli, 2021), che sono state impiegate come base di partenza per la realizzazione di un'analisi più completa. Successivamente, sono stati passati in rassegna tutti gli stimoli di ciascuna versione dei test di Raven (MPS, MPA, MPC), le cui caratteristiche sono state analizzate sistematicamente attraverso l'*analisi del compito cognitivo* (Schrepp, 2003). Ogni item è stato associato alle regole generative coinvolte, che venivano scelte tra quelle elencate e descritte nella Tabella 1. Di seguito è riportato un esempio di come sono state individuate le regole generative associate agli Item D2 e D12 del blocco D delle MPS.

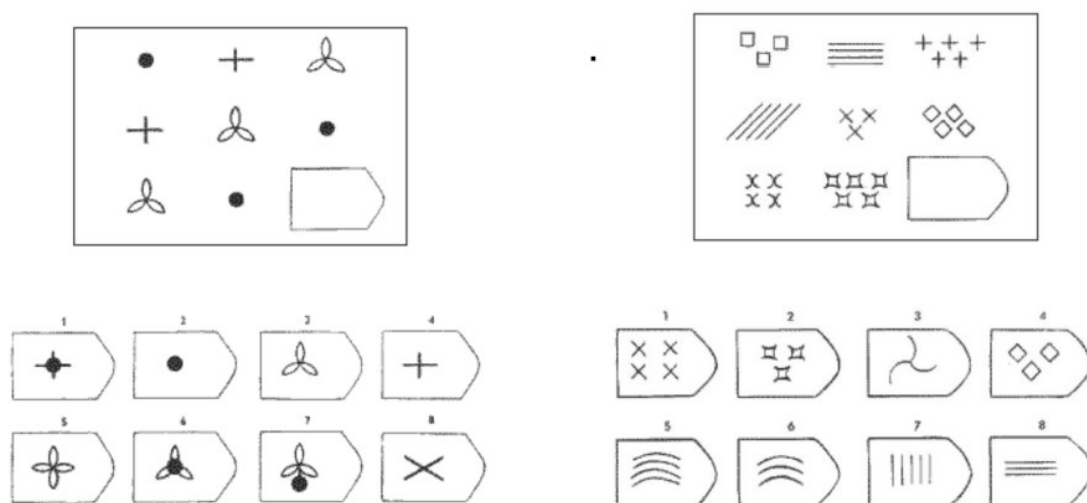


Figura 1. Item D2 (a sinistra) e Item D12 (a destra) del blocco D delle matrici Standard di Raven.

Per prima cosa si studiano le peculiarità dei segni grafici che compongono la matrice: entrambe quelle presenti in Figura 1 si sviluppano orizzontalmente e verticalmente alternando disegni geometrici differenti. Per quanto riguarda la matrice di sinistra, seguendo la logica orizzontale si può notare che nella prima riga si alternano tre figure differenti e nelle righe successive avviene lo stesso e sono impiegate le medesime figure. Inoltre si può verificare che non sono coinvolti altri tipi di cambiamento, come per esempio la numerosità. Prendendo in esame la matrice di destra, invece, si può notare che orizzontalmente e verticalmente non cambiano soltanto le forme, ma anche la numerosità e l'orientamento, dunque sono coinvolte due trasformazioni in più rispetto alla matrice precedente. La comprensione della logica sottostante all'evoluzione degli attributi lungo le celle della matrice consente di individuare l'alternativa corretta tra le proposte a disposizione in calce alla matrice.

Dopo aver analizzato accuratamente ogni dettaglio dello stimolo in esame, si giunge alla costruzione completa della skill-map, come illustrato nella Tabella 2, in cui ogni riga rappresenta un item e ogni colonna rappresenta una regola generativa.

ITEM	TRASFORMAZIONE MENTALE	PROGRESSIONE QUANTITATIVA	CAMBIAMENTI DI FORMA
D2			X
D12	X	X	X

Tabella 2. Skill-map per gli item D2 e D12 delle Matrici Standard di Raven

Come si evince dalla Tabella 2, entrambi gli item richiedono il riconoscimento del cambiamento della forma; inoltre l'item D12 richiede anche di riconoscere il cambiamento di numerosità e coinvolge la trasformazione mentale. Ne consegue che l'item D2 è un *prerequisito* dell'item D12, a significare che un individuo capace di risolvere il secondo item sarà capace di risolvere anche il primo.

Questo tipo di analisi è stata fatta per tutte le matrici dei test di Raven. Qui si riporta l'esempio della skill-map ottenuta per il Blocco D delle MPS.

Item	Trasformazione mentale	Completezza	Progressione quantitativa	Cambiamenti di forma	Cambiamenti di riempimento	Cambiamenti di bordo
D01		x		x		
D02				x		
D03			x			
D04				x		x
D05				x		x
D06				x		x
D07				x		x
D08				x	x	
D09				x	x	
D10				x		x
D11	x			x		
D12	x		x	x		

Tabella 3. Skill map del blocco D delle Matrici Standard di Raven

Da questo tipo di analisi è emerso un elevato numero di classi di equivalenza tra gli stimoli, ovvero degli insiemi di item che sono associati alle medesime operazioni mentali. Sulla base di questa verifica è possibile eliminare gli stimoli equivalenti, mantenendone uno solo rappresentativo per ogni classe, per evitare di rendere il test ridondante.

In Figura 2 è riportato un esempio di item equivalenti, il B6 e il B7 delle Matrici Progressive Standard di Raven. In entrambi gli stimoli, le regole coinvolte sono il cambiamento di riempimento e il cambiamento di orientamento. Dopo aver realizzato le skill-map, è possibile costruire le relative strutture di conoscenza. Se l'obiettivo è quello di validare empiricamente la struttura, avendo a disposizione un data set, si procederà con l'applicazione ai dati di un modello probabilistico. Il modello probabilistico ad oggi più usato a questo scopo si chiama Basic Local Independence model (BLIM; Falmagne & Doignon, 1988).

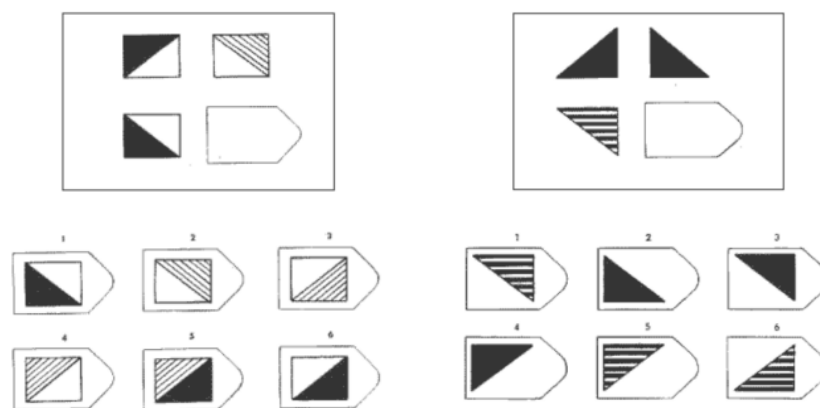


Figura 2. Esempio di equivalenza tra gli item B6 (a sinistra) e B7 (a destra) del blocco B delle MPS.

CAPITOLO 4

STUDIO EMPIRICO

Il presente capitolo descrive lo studio empirico condotto al fine di creare e testare un test Raven-like composto da matrici generate da regole.

4.1 Obiettivo

Il presente studio è uno studio pilota che ha l'obiettivo di realizzare ed applicare un test Raven-like per la valutazione dell'intelligenza fluida composto da matrici generate da regole. In particolare, si vuole testare l'equivalenza di matrici generate a partire dalle stesse regole.

4.2 Procedura e Strumenti

Lo studio è strutturato nelle seguenti quattro fasi: (1) Creazione delle matrici; (2) Costruzione del test; (3) Somministrazione del test ad un campione di soggetti adulti; (4) Analisi dei risultati.

L'individuazione delle regole da utilizzare per la creazione delle matrici è stato il primo step di questo processo. Questa scelta è stata fatta sulla base di un'attenta analisi delle skill map delle Matrici Standard e delle Matrici Progressive di Raven realizzate in precedenza (vedi Capitolo 3). In particolare, sono state selezionate alcune regole (prima riga della Tabella 4), considerando una gradualità di difficoltà e un'eterogeneità di macro-categorie che potesse essere appropriata per il campione preso in esame (soggetti adulti della popolazione generale).

La Tabella 4 riporta la skill map usata per definire gli stimoli dello studio. In colonna sono indicate le regole e in riga gli item. Una "X" nelle celle indica che per l'item in questione è coinvolta la specifica regola.

Le matrici sono state generate tramite il programma R con l'ausilio del pacchetto `StimGen`. Questo pacchetto consente di generare matrici in modo automatico, andando a definire le forme e le regole che si vogliono includere nella matrice. La Figura 3 illustra l'esempio di una matrice generata da `StimGen` che si compone della sola regola "OR" applicata con una logica orizzontale. Infatti, le celle della terza colonna si compongono dall'unione delle celle nella prima e nella seconda colonna.

Codice stimolo	AND	OR	XOR	Riempimento	Cambiamenti di forma	Rotazione	Trasformazione mentale	Cambio dimensione
logic10	X	X						
logic20	X		X					
logic30		X	X					
visuo10					X	X	X	
visuo20					X	X		X
visuo30				X	X	X		
logic11	X	X						
logic21	X		X					
logic31		X	X					
visuo11					X	X	X	
visuo12					X	X		X
visuo31				X	X	X		

Tabella 4. Skill map stimoli.

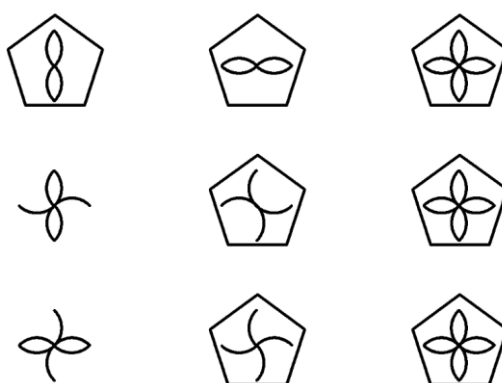


Figura 3. Esempio di matrice generata con il programma R

La sintassi utilizzata per generare la matrice illustrata in figura è la seguente:

```
st1=cof(pentagon(),vertical.eight(),horizontal.eight());  
M <- apply (Raven(st1,hrule="OR",vrule="identity");  
draw(M);
```

Nella prima riga si definiscono le forme. In questo caso, si scelgono il pentagono, la forma “otto in verticale” e la forma “otto in orizzontale”. Nella seconda riga, la funzione `Raven` applica la regola “OR” secondo una logica orizzontale e una logica “identità” in verticale. Nella terza riga si crea la matrice in cui tutte le celle vengono inizializzate e vengono improntate tutte le regole.

Generate tutte le matrici con i relativi distrattori, si è passati alla seconda fase della ricerca, ovvero alla costruzione del test. Il test è stato costruito tramite la piattaforma Qualtrics (Smith & Orgill, 2002) e si compone di quattro parti. La prima parte riguarda l'accettazione o meno dei termini del consenso informato previsto per legge, senza la quale il test non può essere somministrato. La seconda parte si compone di una serie di domande socio-anagrafiche riguardanti: data di nascita, sesso, livello di istruzione, professione, gruppo culturale di appartenenza ed eventuale conoscenza pregressa delle matrici di Raven. Nella terza parte si danno le istruzioni del compito, assieme ad un esempio grafico e si procede con quattro matrici di pratica, utili per facilitare al partecipante la comprensione del compito. Nella quarta parte comincia il test vero e proprio, che è composto da 34 item suddivisi in due blocchi. Entrambi i blocchi si compongono di $7 \times 2 = 14$ matrici, ovvero di sette coppie di matrici equivalenti. La differenza tra i due blocchi è nel numero delle opzioni di risposta. Le matrici del Blocco A hanno otto opzioni di risposta (una corretta e sette errate), mentre le matrici del Blocco B hanno cinque opzioni di risposta (una corretta e quattro errate). È ammessa una sola risposta per ogni item e non ci sono limiti di tempo per la compilazione.

Il rispondente, dunque, è chiamato a risolvere un totale di 28 matrici, escludendo il blocco di pratica. La raccolta dei dati si è svolta in un periodo di circa due mesi, da dicembre a gennaio, ed è avvenuta interamente online.

4.3 Partecipanti

Il totale di soggetti che ha partecipato allo studio è pari ad 66. Di questi due non hanno dato il consenso, quattro non lo hanno compilato, e 25 hanno risposto a meno del 30% delle matrici. Il campione considerato per le analisi è dunque composto da 37 soggetti per il Blocco A e 35 per il Blocco B. Nelle analisi di confronto tra i blocchi è stato considerato il campione a 35.

L'età media dei partecipanti è 27 anni con un minimo di 19 anni a un massimo di 63 anni. Il campione è composto per il 66,6% da femmine. Il livello di istruzione del campione è abbastanza omogeneo: l'80,5% dei partecipanti possiede il diploma di scuola media superiore e il 10,2% possiede una laurea triennale; solo un partecipante possiede il diploma di scuola media inferiore. La maggioranza del campione (72,3%) è composta da studenti, di cui il 41% frequentano l'Università degli Studi di Padova. Solamente un partecipante non è di origine italiana. Il 74% del campione manifesta problemi alla vista, ma la maggior parte di questi dichiara che vengano adeguatamente corretti. Il 48% del campione riferisce di conoscere le Matrici Progressive di Raven e il 77% dichiara di aver svolto almeno una volta problemi simili. Si è deciso di non escludere i partecipanti che avevano familiarità con il test, vista la numerosità campionaria esigua. I partecipanti sono stati reclutati utilizzando differenti metodi: il link al test è stato diffuso avvalendosi di canali quali Facebook, Instagram e Whatsapp.

4.4 Metodi

Vista la numerosità campionaria limitata, si è preferito concentrarsi su analisi di tipo descrittivo al fine di capire se i soggetti abbiano risposto in modo analogo alle coppie di matrici gemelle. A questo scopo, per ciascuna coppia di matrici gemelle è stato calcolato il grado d'accordo. Più in dettaglio, per ogni coppia di matrici si è ottenuta la proporzione di soggetti che hanno risposto correttamente ad entrambe le matrici della coppia oppure che hanno risposto in modo errato ad entrambe le matrici della coppia. Si è deciso di confrontare le coppie entro i blocchi.

4.5 Risultati

Nella presente sezione si presentano i principali risultati ottenuti a seguito dello studio empirico condotto sul campione. Prima di procedere con le analisi, è stato verificato che i soggetti avessero risposto in modo corretto agli stimoli del blocco di pratica, ad indicare massima serietà nello svolgimento del compito. Tutti i partecipanti hanno svolto correttamente i quattro stimoli del blocco di pratica.

Nella Figura 4, l'asse delle x riporta i nomi degli item e l'asse delle y riporta le percentuali di risposte corrette (colore nero), quelle delle risposte errate (colore grigio scuro) e quelle delle risposte mancanti (colore grigio chiaro) fornite agli item del Blocco A (sulla sinistra) e del Blocco B (sulla destra). Inoltre, sull'asse delle x , le coppie di matrici “gemelle” sono adiacenti tra loro. Per esempio, “visuo1” e “visuo11” sono una coppia di matrici gemelle, così come le matrici “visuo2” e “visuo12”, e così via.

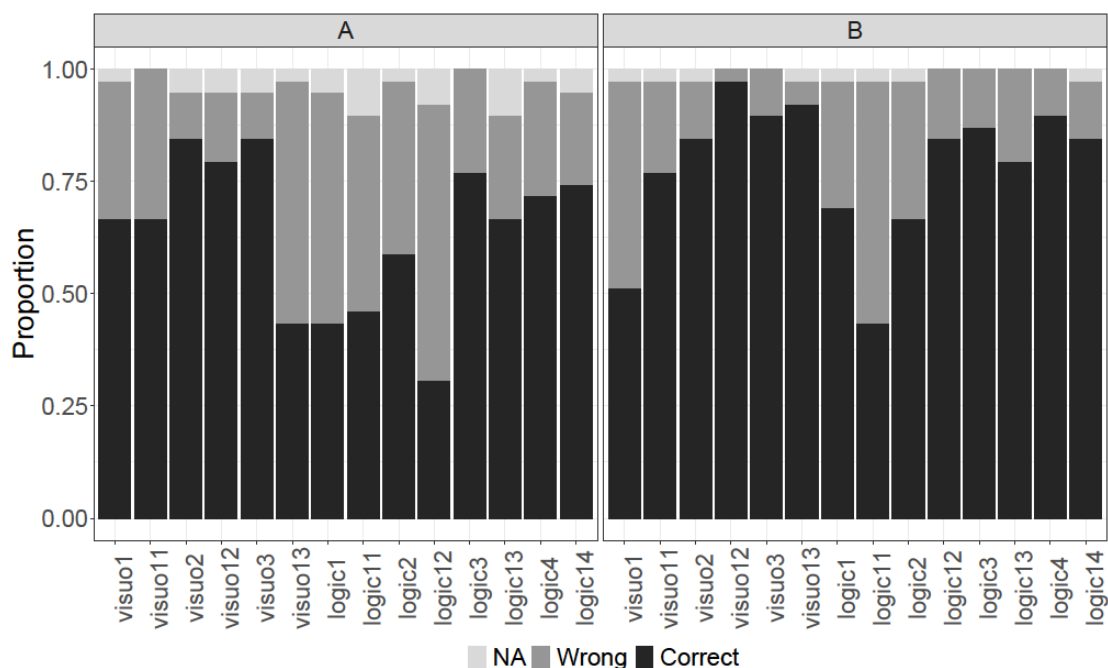


Figura 4. Proporzioni risposte corrette Blocchi A e B

Dalla figura si può osservare che l'item più semplice è il "visuo12" del Blocco B, le cui risposte sono quasi tutte corrette, seguito dagli item "visuo3" e "visuo13"; invece l'item che ha collezionato più risposte errate è stato il "logic12" del Blocco A. La percentuale di risposte mancanti è esigua, l'item "logic11" del Blocco A ne presenta la quantità maggiore. Inoltre, per nessun item le risposte sono tutte corrette o tutte errate e per alcuni item sono state fornite più risposte errate rispetto a quelle corrette (come ad esempio l'item "logic12"), il che permette di capire che il test è di difficoltà intermedia rispetto al campione preso in esame. Mediamente, si è osservato un numero maggiore di risposte corrette e un numero minore di risposte mancanti per le matrici del Blocco B. Questo risultato è di difficile interpretazione, infatti, sia la somministrazione degli stimoli entro i blocchi che l'alternanza dei due blocchi era casuale. L'unica spiegazione possibile è che gli stimoli del Blocco B siano effettivamente più facili di quelli del Blocco A. Per quanto riguarda la proporzione di risposte corrette delle coppie, si osservano item che hanno proporzioni molto simili, come nel caso degli item "visuo1" e "visuo11" del Blocco A e "visuo3" e "visuo13" del Blocco B, e item che hanno proporzioni molto diverse, come nel caso degli item "visuo3" e "visuo13" o "logic2" e "logic12" del Blocco A. Per le coppie che hanno esibito risposte molto diverse, come in quest'ultimo caso, è possibile procedere con l'ispezione diretta delle matrici per cercare di capire la causa della non equivalenza (si veda la fine della sezione).

Nella Figura 5, l'asse delle x riporta il nome delle coppie di matrici “gemelle” e l'asse delle y riporta le percentuali di accordo nelle risposte fornite alle matrici “gemelle” entro i blocchi. Le barre grigie si riferiscono al Blocco A e quelle nere al Blocco B. Sull'asse delle x ogni coppia di matrici “gemelle” è indicata con il nome della prima: per esempio, “visuo1” indica la coppia formata da “visuo1” e “visuo11”.

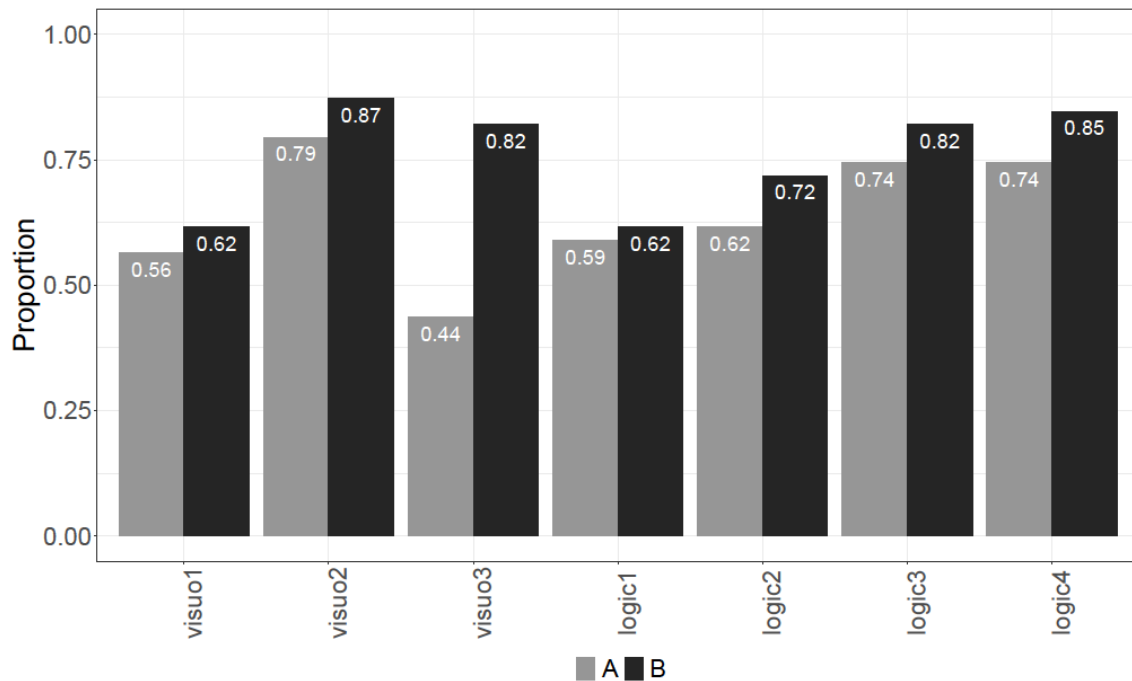


Figura 5. Percentuali di accordo entro i blocchi. Le barre grigie si riferiscono al Blocco A, mentre quelle nere al Blocco B.

Dalla figura emergono alcuni risultati interessanti. Come prima cosa, si può notare che le percentuali di accordo entro i blocchi sono tutte superiori al 50%, ad eccezione della coppia “Visuo3” per la quale la proporzione di disaccordo è superiore a quella di accordo. Inoltre, si nota che l'accordo delle matrici nel Blocco B è sistematicamente superiore a quello del Blocco A. Per 4 item su 7 (“visuo2”, “visuo3”, “logic3” e “logic4”) si osserva un accordo superiore all'80%, ma solo nel Blocco B, mentre nel Blocco A la percentuale più elevata di accordo è pari a 79%. Sembra dunque che, in generale, le coppie incluse nel Blocco B mostrano un grado di equivalenza superiore rispetto a quelle del Blocco A. Forse questo avviene perché gli stimoli delle matrici “gemelle” del Blocco B presentano caratteristiche che le rendono effettivamente più equivalenti e che portano ad un grado maggiore di accordo nelle risposte fornite.

La coppia che desta particolare attenzione è la coppia nominata “visuo3”, poiché la percentuale di accordo presenta una notevole differenza tra il Blocco A (44%) e il Blocco B (82%) In questo specifico caso, è stata confrontata, in senso qualitativo, la coppia di matrici gemelle incluse nel Blocco A. A questo scopo non sono state considerate solo le regole sottostanti alla generazione delle matrici, ma anche la tipologia di distrattore che è stata scelta come risposta.

Le matrici della coppia “visuo 3” (riportate in Figura 6) sono state generate manipolando il riempimento, l’orientamento e la forma. La manipolazione di tutte e tre le regole avviene seguendo una logica diagonale che varia dall’angolo in “alto a sinistra” all’angolo in “basso a destra”.

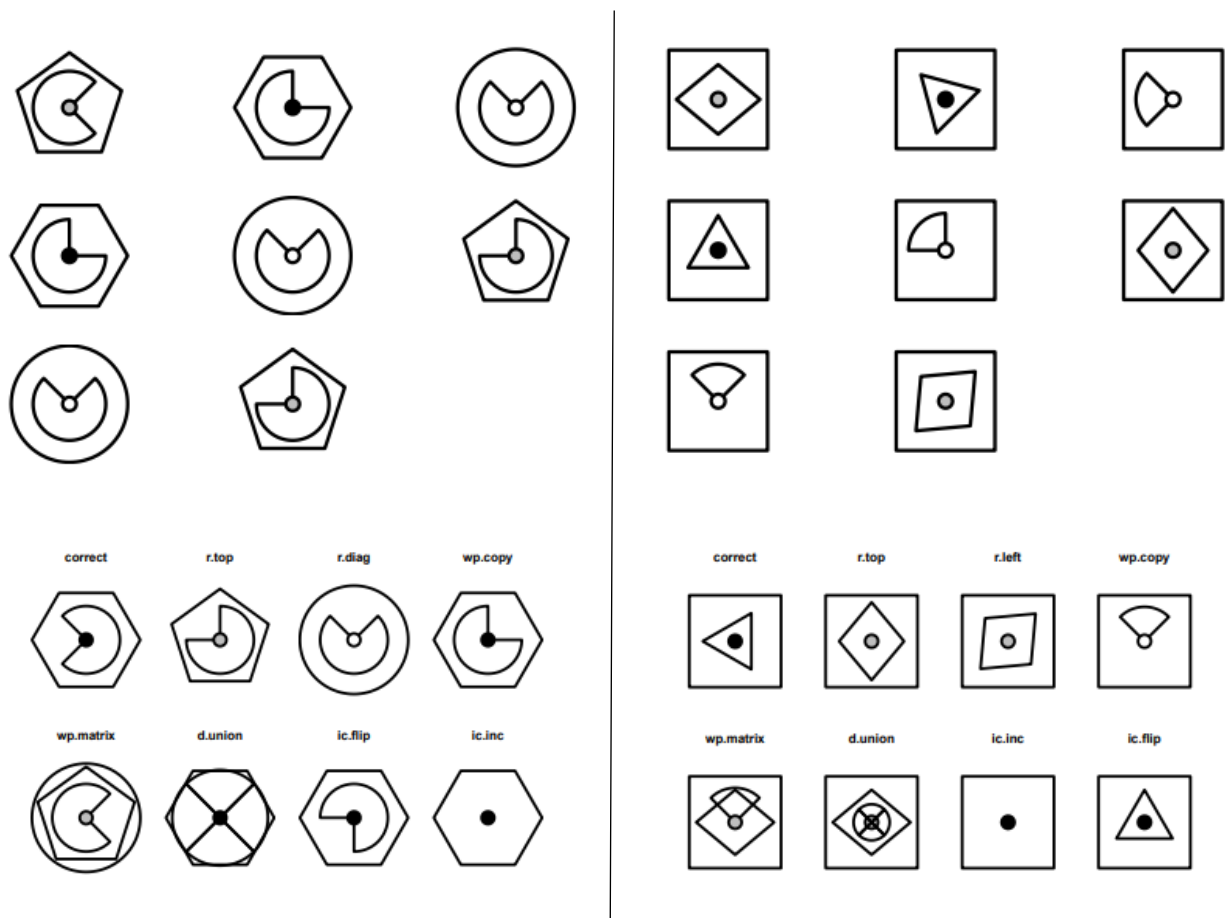


Figura 6. Coppia di matrici “gemelle” nominate “visuo3” appartenenti al Blocco A, con le rispettive opzioni di risposta.

Dall’analisi delle risposte fornite è emerso che i partecipanti che hanno risposto in modo errato, sono stati distratti o confusi dall’orientamento della forma interna (nominata “pac-man”). Infatti, fra le risposte della matrice, due distrattori (risposte errate) sono del tutto simili alla risposta corretta, ad eccezione dell’orientamento della forma “pac-man”. E’ questo il caso dei distrattori nominati “ic.flip” e “wp.copy” in figura. Questo risultato suggerisce che un distrattore con queste caratteristiche, ovvero

che differisce per una regola soltanto dalla risposta corretta, più facilmente disturba la scelta del rispondente. La matrice gemella (matrice di destra in Figura 6), presenta solo un distrattore che ha caratteristiche simili (ovvero, il distrattore nominato “ic.flip in figura”) anziché due. Questo piccolo ma significativo dettaglio ha reso la matrice riportata a destra della figura più semplice rispetto a quella riportata a sinistra.

Da questi risultati si evince che, per generare coppie di matrici equivalenti, non basta costruire matrici a partire dalle stesse regole ma è anche fondamentale che le tipologie di distrattori che costituiscono le opzioni di risposta delle matrici, presentino caratteristiche equivalenti.

CAPITOLO 5

DISCUSSIONE

La presente ricerca aveva l'obiettivo di creare e testare un test Raven-like per la valutazione dell'intelligenza fluida attraverso la generazione automatica di stimoli guidata da regole. Il lavoro è stato sviluppato entro il riferimento teorico delle procedure formali della *Knowledge Space Theory* (KST; Falmagne, Koppen, Villano, Doignon & Johannessen, 1990).

Si è partiti da una ricerca bibliografica che aveva lo scopo di analizzare gli studi condotti sui test di problem-solving per la valutazione dell'intelligenza fluida degli individui, soffermandosi in particolare sui metodi di costruzione delle *matrici*, ovvero le strutture grafiche composte da celle che fungono da problemi per questa tipologia di test.

Successivamente è stata realizzata una classificazione sistematica delle regole riscontrabili, ad oggi, nella letteratura scientifica di riferimento; le *regole generative*, chiamate anche *operazioni mentali*, *tipologie di problemi* o *relazioni*, sono le procedure utilizzate per costruire le matrici di un test Raven-like. Dalla sistematizzazione e selezione di tutte queste regole, si è giunti ad un totale di diciannove regole, suddivise in cinque macrocategorie di riferimento, che permettono di catalogarle in modo preciso e sistematico. Tale classificazione non era mai stata effettuata prima e si è rivelata molto utile in fase di realizzazione delle skill-map e di costruzione del test.

Nello step successivo si è passati alla costruzione delle skill-map delle matrici utilizzate nei test originali di Raven, effettuata avvalendosi di precedenti mappature presenti nella letteratura scientifica e soprattutto grazie alla tassonomia di cui sopra. Sono stati passati in rassegna tutti gli stimoli di ciascuna versione dei test di Raven (MPS, MPA, MPC), le cui caratteristiche sono state analizzate sistematicamente al fine di associare ogni item alle regole generative coinvolte.

Questa fase di studio preliminare ha permesso di passare alla fase dello studio empirico. In particolare, si voleva testare l'equivalenza di matrici generate a partire dalle stesse regole. Per prima cosa sono state selezionate delle regole ricavate dalle skill-map realizzate in precedenza sui test di Raven; sulla base di questa selezione sono state create le nuove matrici per la composizione del test avvalendosi del programma R. Il test è stato poi creato tramite la piattaforma Qualtrics ed è stato somministrato ad un campione composto da 66 soggetti adulti. Nonostante la numerosità campionaria fosse limitata, un'analisi di tipo descrittivo è stata comunque utile per capire se i soggetti abbiano risposto in modo analogo alle coppie di matrici gemelle. Per ogni coppia di matrice si è ottenuta la proporzione di soggetti che hanno risposto correttamente o in modo errato ad entrambe le matrici della coppia (proporzione di accordo).

Complessivamente, ci saremmo aspettati percentuali più alte di accordo. Infatti, le percentuali di accordo entro i blocchi erano superiori al 50% per tutte le matrici e molto simili tra i blocchi ad eccezione di una matrice che ha dunque richiesto particolare attenzione e ulteriori analisi a livello qualitativo. Ne è emerso un risultato chiaro, ovvero che per generare matrici equivalenti non basta prestare attenzione alle regole impiegate per produrre la matrici ma è necessario anche produrre opzioni di risposta errate (distrattori) che sono equivalenti. Questo risultato sarà molto utile per studi futuri che vogliano produrre versioni parallele di matrici Raven-like, costituite da matrici equivalenti.

Il lavoro presenta dei limiti che dovranno essere tenuti in considerazione in prospettiva di future ricerche sul tema. Un primo limite è la scarsa ampiezza del campione per la raccolta dati; infatti una maggiore numerosità di partecipanti e di compilazioni complete del test aumenterebbe l'attendibilità dei risultati ottenuti e permetterebbe di compiere analisi più approfondite. Inoltre la classificazione delle regole generative non intende essere definitiva o esaustiva, poiché possono essere apportati miglioramenti e integrazioni avvalendosi di ulteriori ricerche e studi. Nonostante i limiti evidenziati, la presente ricerca intende proporsi come un contributo e un punto di partenza per ricerche future.

BIBLIOGRAFIA

- Arendasy, M., & Sommer, M. (2005). The effect of different types of perceptual manipulations on the dimensionality of automatically generated figural matrice. *Intelligence* 33.
- Carpenter, P. A, Just, M. A., & Shell, P. (1990). What One Intelligence Test Measures: A Account of the Processing in the Raven Matrices Test. Carnegie-Mellon Univ., Pittsburgh, Pa. Psychology.
- Carr, A., & Wingate, D. (2019). Graph Neural Processes Towards Bayesian Graph Neural Networks.
- de Chiusole, D., Stefanutti, L., Anselmi, P., & Robusto, E. (2020). Stat-Knowlab. assessment and learning of statistics with competence-based knowledge space theory. *International Journal of Artificial Intelligence in Education*
- Deshon, R. P., Chan, D., & Weissbein, D. (1995). Verbal Overshadowing Effects on Raven's Advanced Progressive Matrices: Evidence for Multidimensional Performance Determinants. *intelligence* 21, 135-155
- Doignon, J.-P., & Falmagne, J.-C. (1999). Knowledge Spaces. Berlin.
- Domonkos, A. B. (2020). Discovering the applicability of the Knowledge Space Theory for intelligence assessment.
- Embretson, S. E. (1998). A Cognitive Design System Approach to Generating Valid Tests: Application to Abstract Reasoning. *Psychological Methods* 1998, Vol. 3, No. 3, 380-396.
- Harris, A., McMillan, J. T., Listyg, B., Matzen, L. E., & Carter, N. (2020). Measuring Intelligence with the Sandia Matrices: Psychometric Review and Recommendations for F view and Recommendations for Free Raven-Like Item Sets. *Personnel Assessment and Decisions, Volume 6, Issue 3*.
- Jahrens, M., & Martinetz, T. (2020). Solving Raven's Progressive Matrices with Multi-Layer Relation Networks.

- Little, D. R. (2012). Numerical predictions for serial, parallel, and coactive logical rule-based models of categorization response time. *Behav Res* 44:1148–1156 DOI 10.3758/s13428-012-0202-4.
- Little, D. R., Lewandowsky, S., & Craig, S. (2014). Working memory capacity and fluid abilities: the more difficult item, the more more is better. *Frontiers in Psychology*.
- Matzen, L. E., Benz, Z. O., Dixon, K. R., Posey, J., Kroger, J. K., & Speed, A. E. (2010). Recreating Raven's: Software for systematically generating large numbers of Raven-like matrix problems with normed properties. *Behavior research methods*.
- Moroncelli, S. (2021). Le Matrici Standard di Raven e la Knowledge Space Theory: indagine applicativa sulla valutazione adattiva dell'intelligenza fluida.
- Rasmussen, D., & Eliasmith, C. (2010). A Neural Model of Rule Generation in Inductive Reasoning. *Topics in Cognitive Science* 3, 140–153.
- Raven, J. C. (1962). Coloured Progressive Matrices, Sets A, A_B, B. *HK Lewis*.
- Raven, J. C., & JH Court. (1938). Raven's progressive matrices. *Los Angeles, CA: Western Psychological Services*.
- Raven, J. C., Raven, J. C., & Court, J. H. (1962). Advanced progressive matrices. *London: HK Lewis*.
- Serra, F., Spoto, A., Ghisi, M., & Vidotto, G. (2017). Improving major depressive episode assessment: A new tool developed by formal psychological assessment. *Frontiers in Psychology*, 8, 214.
- Shpurov, I. Y., Vlasova, R. M., Rumshiskaya, A. D., Rozovskaya, R. I., Merzhina, E. A., Valentin, E. S., & Pechenkova, E. V. (2020). Neural Correlates of Group Versus Individual Problem Solving Revealed by fMRI. *Frontiers in Human Neuroscience, Volume 14*.
- Stefanutti, L., de Chiusole, D., & Brancaccio, A. (2021). Markov solution processes: Modeling human problem solving with procedural knowledge space theory. *Journal of Mathematical Psychology*, 103, 102552.

Styles, I., Raven, J. C., & Raven, M. (1998). Raven's progressive matrices: SPM plus sets AE. *Harcourt*.

Wang, K., & Su, Z. (2015). Automatic Generation of Raven's Progressive Matrices. *Proceedings of the Twenty-Fourth International Joint Conference on Artificial Intelligence*.

Zhang, C., Gao, F., Jia, B., & Zhu, Y. (2019). RAVEN: A Dataset for Relational and Analogical Visual Reasoning. *UCLA Center for Vision, Cognition, Learning and Autonomy*.