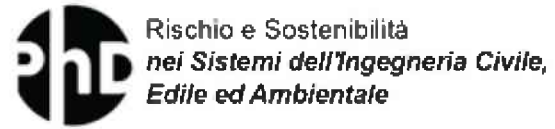




UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI SALERNO



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI SALERNO
Dipartimento di Ingegneria Civile

Dottorato di Ricerca in
**RISCHIO E SOSTENIBILITÀ NEI SISTEMI
DELL'INGEGNERIA CIVILE, EDILE E AMBIENTALE
XXXV CICLO**

Curriculum A
*TECNOLOGIE AVANZATE, INFRASTRUTTURE E PROTEZIONE DEL
TERRITORIO PER LO SVILUPPO SOSTENIBILE*

Tesi di dottorato in
**La modellazione dei comportamenti di mobilità nell'era
dell'automazione e dell'elettrificazione dei sistemi
di trasporto**

Coordinatore

Prof. Fernando Fraternali

Candidato

Francesca Bruno

Tutor

Prof. Stefano de Luca

Co-Tutor

Prof. Roberta Di Pace

Anno 2022/2023

INDICE

INDICE	1
INDICE DELLE FIGURE	7
INDICE DELLE TABELLE	11
1 MOTIVAZIONI E SINTESI.....	15
1.1 MOTIVAZIONI	15
1.2 PROBLEMA DI RICERCA: I PARADIGMI INTERPRETATIVI E MODELLAZIONE DEL PROCESSO DECISIONALE 15	
1.3 OBIETTIVI DELLA RICERCA.....	17
1.4 CONTRIBUTO DELLA RICERCA	17
1.5 PROSPETTO DELLA TESI.....	18
2 APPROCCIO ECONOMICO ALLA MODELLAZIONE DI COMPORAMENTI DI SCELTA: INQUADRAMENTO METODOLOGICO	21
2.1 IL PROCESSO DECISIONALE E I PARADIGMI INTERPRETATIVI.....	21
2.2 DAI PARADIGMI INTERPRETATIVI AI PARADIGMI TEORICI	25
2.3 STORIA ED EVOLUZIONE DELLA TEORIA ECONOMICA DELL'UTILITÀ.....	28
2.4 TEORIE ECONOMICHE E MODELLI DI SCELTA.....	34
2.5 MODELLI DI SCELTA DISCRETA A RAZIONALITÀ COMPLETA: LA TEORIA DELL'UTILITÀ.....	38
2.5.1 LA TEORIA DELL'UTILITÀ: FORMALIZZAZIONE MATEMATICA	38
2.5.2 MODELLI DI UTILITÀ ALEATORIA CONSOLIDATI: IPOTESI E CLASSIFICAZIONE.....	40
2.5.3 MODELLI DI UTILITÀ ALEATORIA AVANZATI: MODELLI IBRIDI A VARIABILI LATENTI.....	41
2.6 MODELLI DI SCELTA DISCRETA A RAZIONALITÀ LIMITATA	43
2.6.1 BOUNDED RATIONALITY	43
2.6.2 REGRET THEORY	45
2.6.3 PROSPECT THEORY	47
3 APPROCCIO PSICOLOGICO ALLA MODELLAZIONE DI COMPORAMENTI DI SCELTA: INQUADRAMENTO METODOLOGICO	57
3.1 INFORMATION INTEGRATION THEORY	57
3.2 THEORY OF REASONED ACTION, TRA.....	58

3.3	THEORY OF PLANNED BEHAVIOR, TPB	61
3.4	DIFFUSION OF INNOVATION THEORY, DOI	64
3.4.1	GLI ELEMENTI DELLA DIFFUSIONE DELLE INNOVAZIONI	64
3.4.2	LE FASI DEL PROCESSO DIFFUSIONE DELL'INNOVAZIONE	66
3.4.3	CATEGORIE DI ADOTTANTI	70
3.5	TRANSTHEORETICAL MODEL, TTM	72
3.5.1	GLI STADI DEL CAMBIAMENTO	73
3.5.2	I PROCESSI DI CAMBIAMENTO	74
3.5.3	I FATTORI PSICOLOGICI	76
3.6	TECHNOLOGY ACCEPTANCE MODEL, TAM (E RELATIVE MODIFICHE)	77
3.6.1	TECHNOLOGY ACCEPTANCE MODEL, TAM.....	77
3.6.2	TECHNOLOGY ACCEPTANCE MODEL 2, TAM2	84
3.6.3	TECHNOLOGY ACCEPTANCE MODEL 3, TAM3	85
3.7	UNIFIED THEORY OF ACCEPTANCE AND USE OF TECHNOLOGY - UTAUT (E RELATIVE MODIFICHE) ..	88
3.7.1	UNIFIED THEORY OF ACCEPTANCE AND USE OF TECHNOLOGY, UTAUT	88
3.7.2	UNIFIED THEORY OF ACCEPTANCE AND USE OF TECHNOLOGY 2, UTAUT 2	90
3.8	COMBINAZIONE DI DIVERSI PARADIGMI ALTERNATIVI	92
3.8.1	COMBINAZIONE TAM-TPB: MODELLO C-TAM-TPB.....	92
3.9	PARADIGMI PENSATI PER IL SETTORE TRASPORTI	93
3.9.1	CAR TECHNOLOGY ACCEPTANCE MODEL, CTAM.....	93
3.9.2	AUTONOMOUS VEHICLE ACCEPTANCE MODEL.....	96

**4 ANALISI PRELIMINARI DEI DATI E CALIBRAZIONE DI MODELLI DI SCELTA DISCRETA:
INQUADRAMENTO METODOLOGICO** **97**

4.1	ANALISI PRELIMINARI	97
4.1.1	TEST STATISTICI DI BASE	100
4.1.2	TEST NON PARAMETRICI	102
4.1.3	SUPPORTO ALLA MODELLAZIONE DELLE SCELTE: ANALISI FATTORIALE	103
4.2	MODELLI AD EQUAZIONI STRUTTURALI	107
4.2.1.1	Approccio PLS-SEM	109
	Valutazione dei modelli di misurazione riflessiva	115
	Valutazione del modello strutturale	117
	Valutazione dell'effetto di moderazione.....	119
4.2.1.2	Approccio CB-SEM.....	120
4.3	SPECIFICAZIONE, CALIBRAZIONE E VALIDAZIONE DI MODELLI DI SCELTA DISCRETA	124
4.3.1	MODELLI DI UTILITÀ ALEATORIA CONSOLIDATI	124
4.3.1.1	Specificazione del modello.....	124
	Quali sono le alternative che conosce l'utente?	125
	Qual è la disponibilità oggettiva delle alternative?.....	125

Quali sono gli attributi rilevanti?	126
Qual è la migliore funzione di scelta?	127
4.3.1.2 Calibrazione del modello	127
4.3.1.3 Validazione del modello.....	128
Conduzione di test	129
Analisi della capacità riproduttiva dei dati.....	130
4.3.2 MODELLI DI UTILITÀ ALEATORIA IBRIDI.....	131
4.3.2.1 Specificazione dei modelli integrati di scelta discreta con variabili latenti	131
4.3.2.2 Calibrazione dei modelli di scelta ibridi	134
Stima sequenziale	136
Stima simultanea.....	137
4.3.3 MODELLI AVANZATI	137

**5 ANALISI E MODELLAZIONE DI COMPORTAMENTI DI SCELTA MEDIANTE PARADIGMI
COMPLEMENTARI ALLA TEORIA DELL'UTILITÀ ALEATORIA..... 139**

5.1 SINTESI.....	139
5.2 CONTESTO SPERIMENTALE.....	141
5.2.1 I FASE - SCELTA DI UTILIZZO IN CONTESTO URBANO ED EXTRAURBANO	144
5.2.2 II FASE - SCELTA DI UTILIZZO IN CONTESTO URBANO ED EXTRAURBANO	147
5.2.3 IIIª FASE - SCELTA DI ACQUISTO.....	148
5.3 ANALISI PRELIMINARI DEI DATI	155
5.3.1 ANALISI DESCRITTIVE	155
5.3.1.1 Fase I.....	155
Caratteristiche socio-economiche	155
Consumi	160
Ambiente.....	161
Tecnologia	162
Norme Sociali	163
Conoscenza alimentazioni e caratteristiche importanti per l'acquisto di un nuovo veicolo..	163
Analisi incrociate Fase I.....	168
5.3.1.2 Fase III	175
Attitudini verso i veicoli elettrici	179
Norme Soggettive	180
Controllo comportamentale percepito.....	181
Vantaggi dei veicoli elettrici e caratteristiche d'acquisto	182
5.3.1.3 Analisi dei costrutti estrapolati dalle teorie psicologiche.....	184
5.3.2 TEST NON PARAMETRICI.....	184
5.4 MODELLAZIONE AD EQUAZIONI STRUTTURALI	187
5.4.1 VALUTAZIONE CON APPROCCIO PLS-SEM	188

Risultati del modello di misurazione	189
Risultati del modello strutturale	192
Risultati dell'effetto di moderazione.....	194
5.4.2 VALUTAZIONE CON APPROCCIO CB-SEM	195
5.5 MODELLI DI SCELTA CONVENZIONALI ED IBRIDI.....	198
5.5.1 SCELTA DI UTILIZZO - MODELLI LOGIT MULTINOMIALI	200
5.5.1.1 Modello A: MNL con sei alternative.....	200
5.5.1.2 Modello B1: MNL con tre alternative (convenzionale-bifuel-elettrificata).....	204
5.5.1.3 Modello B2: MNL con quattro alternative (convenzionale-bifuel-ibrida-elettrica).....	207
5.5.1.4 Modello B3: MNL con 3 alternative (convenzionale+bifuel-ibrida-elettrica)	209
5.5.1.5 Modello B4: MNL con 2 alternative (convenzionale+bifuel-elettrificata)	212
5.5.1.6 Confronto tra i modelli e modello di Benchmark.....	214
5.5.2 SCELTA DI ACQUISTO - MODELLI LOGIT MULTINOMIALI	215
5.5.3 SCELTA DI ACQUISTO - MODELLI IBRIDI.....	217
5.5.3.1 Variabile latente "Attitudine verso l'ambiente"	219
5.5.3.2 Variabile latente "Percezione dei vantaggi dei veicoli elettrici"	221
5.5.3.3 Combinazione di variabili latenti.....	223
5.6 MODELLI DI SCELTA INNOVATIVI BASATI SU PARADIGMI PSICOLOGICI.....	224
5.6.1 SCELTA DI ACQUISTO – MODELLI IBRIDI & THEORY OF PLANNED BEHAVIOR	225
5.6.1.1 Variabile Latente "Attitudine verso i veicoli elettrici"	226
5.6.1.2 Variabile latente "Controllo comportamentale percepito"	228
5.6.1.3 Combinazione Di Variabili Latenti	230
5.6.2 SCELTA DI ACQUISTO- MODELLI IBRIDI GERARCHICI.....	232
<u>6 DISCUSSIONE.....</u>	<u>237</u>
<u>7 CONCLUSIONI.....</u>	<u>243</u>
<u>8 RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI</u>	<u>247</u>
<u>A. MODELLI DI UTILITÀ ALEATORIA</u>	<u>259</u>
<u>A.1. MODELLI OMOSCHEDASTICI DI UTILITÀ ALEATORIA.....</u>	<u>259</u>
A.1.1. IL MODELLO LOGIT MULTINOMIALE	259
<i>Rappresentazione matematica del modello Logit Multinomiale</i>	<i>261</i>
A.1.2. IL MODELLO LOGIT GERARCHIZZATO	262
<i>Rappresentazione matematica del modello Logit Gerarchizzato</i>	<i>264</i>
A.1.3. IL MODELLO CROSS-NESTED LOGIT	266

A.2. MODELLI ETEROSCHEDASTICI DI UTILITÀ ALEATORIA.....	268
A.2.1. IL MODELLO PROBIT	268
<i>La matrice varianza-covarianza in un modello Probit</i>	<i>269</i>
A.2.1. IL MODELLO MIXED LOGIT	270
<i>Mixed Logit error components.....</i>	<i>270</i>
<i>Mixed Logit random coefficient</i>	<i>273</i>
B. INDICATORI E NOTIZIE PUSH.....	275
B.1 INDICATORI DELLA PRIMA FASE DI INDAGINE	275
B.2 NOTIZIE PUSH	277
B.3 INDICATORI DELLA TERZA FASE DI INDAGINE	278
C. DESCRIZIONE ATTRIBUTI CHE ENTRANO NEI MODELLI DI SCELTA	281

INDICE DELLE FIGURE

Figura 1- Quadro teorico per la modellazione dei comportamenti di scelta – adattato da Ben-Akiva et al., 1999	22
Figura 2- Il paradigma interpretativo economico – adattato da Ben-Akiva et al., 1999	23
Figura 3- Il paradigma interpretativo psicologico – adattato da Ben-Akiva et al., 1999	24
Figura 4- Funzione di utilità per un decisore; trasformazione di valori monetari in valori di utilità.	30
Figura 5- Le funzioni di utilità per utenti avversi e propensi al rischio	31
Figura 6- Struttura del processo di scelta con variabili latenti (Walker,2001).....	42
Figura 7- Rappresentazione di un modello ibrido (adattato da Walker, 2001)	43
Figura 8- Albero decisionale per assicurazione probabilistica.....	49
Figura 9- Andamento della funzione di valore	52
Figura 10- Andamento della funzione di ponderazione delle probabilità	54
Figura 11- Teoria delle azioni ragionate (Ajzen e Fishbein, 1980)	59
Figura 12- Teoria del comportamento pianificato (Ajzen e Fishbein, 1991).....	62
Figura 13- Diagramma delle fasi nel processo di diffusione delle innovazioni (Rogers,1983) 66	
Figura 14- Categorizzazione dell'adottante sulla base dell'innovatività (Fonte: SAHIN, 2006. Estratto da Diffusion of Innovations, fifth edition by Everett M. Rogers. Copyright (c) 2003 by The Free Press).....	70
Figura 15- TAM 1985 (Davis, 1985).....	78
Figura 16- TAM 1989 before comparison study of TPB and TAM (Davis, Bagozzi and Warshaw, 1989).....	80
Figura 17- TAM 1989 after comparison of TPB and TAM (Venkatesh and Davis, 1996)	83
Figura 18- TAM 1993 (Davis, 1993).....	83
Figura 19- TAM2 2000 (Venkatesh and Davis, 2000)	84
Figura 20- TAM 3 2008 (Venkatesh and Bala, 2008)	86
Figura 21- UTAUT (Venkatesh et al, 2003).....	89
Figura 22- UTAUT 2 (Venkatesh, Thong and Xu, 2012).....	90
Figura 23- Technology Acceptance Model, Theory of Planned Behaviour and Combined TAM-TPB model (Taylor e Todd, 1995a).....	92
Figura 24- Car Technology Acceptance Research Model 2 (Osswald et al, 2012)	93
Figura 25- Vehicle Acceptance Model (Hewitt et al, 2019)	96
Figura 26- Modello di percorso con variabili latenti (Sarstedt et al, 2017)	109
Figura 27- Modelli di misurazione.....	111
Figura 28- Algoritmo PLS-SEM (Sarstedt et al, 2017).....	113
Figura 29- Raccomandazioni sulla dimensione del campione in PLS-SEM per una potenza statistica dell'80%- Fonte: Cohen (1992).....	115
Figura 30- Affidabilità e validità (da Hair et al., 2017)	116
Figura 31- Quadro concettuale: integrazione di TPB e TTM	143
Figura 32- Questionario I fase, sezione (i) – Quadro socio-economico e delle caratteristiche degli spostamenti degli intervistati	145

Figura 33- Questionario I fase, sezione (iii) – conoscenza delle alimentazioni alternative a quelle convenzionali.....	146
Figura 34- Questionario I fase, sezione (iv) – Scelta dell'alimentazione dell'automobile preferita nell'ipotesi di spostamento in ambito urbano ed extraurbano	147
Figura 35- Questionario I fase, sezione (v) – Giudizio sui fattori che vengono presi in considerazione in fase di acquisto di un'automobile.....	147
Figura 36 – III fase- Scelta dell'alimentazione (per ogni scenario)	151
Figura 37 – III fase- caratteristiche tecniche delle automobili (valide in tutti gli scenari).....	151
Figura 38 – III fase- Costi delle automobili (validi negli scenari 1 e 2).....	152
Figura 39 – III fase- Costi delle automobili (validi negli scenari 3 e 4).....	152
Figura 40 – III fase- Costi delle automobili (validi negli scenari 5 e 6).....	153
Figura 41 – III fase- Costi delle automobili (validi negli scenari 7 e 8).....	153
Figura 42 – Frequenze relative della variabile “età”	155
Figura 43 – Frequenze relative della variabile “zona di residenza”	156
Figura 44 – Confronto tra numero di componenti del nucleo familiare e patentati in famiglia	156
Figura 45 –Frequenze della variabile “numero di autoveicoli presenti in famiglia”.....	156
Figura 46 –Frequenze della variabile “numero di moto e motocicli presenti in famiglia”	157
Figura 47 –Frequenze della variabile “alimentazione posseduta”.....	157
Figura 48 –Frequenze della variabile “parcheggio abituale”	158
Figura 49 –Frequenze della variabile “modalità di spostamento casa-studio”	158
Figura 50 –Frequenze della variabile “modalità di spostamento casa-svago”	159
Figura 51 –Frequenze della variabile “km giornalieri percorsi”	159
Figura 52 – Conoscenza relativa alle alimentazioni non convenzionali.....	164
Figura 53 – Ripartizione percentuale relativa alla scelta di utilizzo in ambito urbano	164
Figura 54 – Ripartizione percentuale relativa alla scelta di utilizzo in ambito extraurbano ...	165
Figura 55 – Confronto tra scelta di utilizzo in ambito urbano ed extraurbano	165
Figura 56 –Fattori importanti per l'acquisto di un veicolo-Velocità max.....	166
Figura 57 –Fattori importanti per l'acquisto di un veicolo-Accelerazione	166
Figura 58 –Fattori importanti per l'acquisto di un veicolo-Consumi.....	167
Figura 59 –Fattori importanti per l'acquisto di un veicolo-Emissioni inquinanti.....	167
Figura 60 –Fattori importanti per l'acquisto di un veicolo-Casa automobilistica.....	168
Figura 61 – Andamento dei fattori importanti per l'acquisto di un veicolo.....	168
Figura 62 – Aliquote relative alla scelta di acquisto - Scenario 1	175
Figura 63 – Aliquote relative alla scelta di acquisto - Scenario 2	176
Figura 64 – Aliquote relative alla scelta di acquisto - Scenario 7	176
Figura 65 – Aliquote relative alla scelta di acquisto - Scenario 8	177
Figura 66 – Aliquote relative alla scelta di acquisto – Confronto scenari 1 e 2 (variazione possibilità di ricarica al prezzo più basso).....	177
Figura 67 – Aliquote relative alla scelta di acquisto – Confronto scenari 7 e 8 (variazione possibilità di ricarica al prezzo più alto).....	177
Figura 68 – Aliquote relative alla scelta di acquisto – Confronto scenari 1 e 7 (variazioni di costo con possibilità di ricaricare ovunque)	178

Figura 69 – Aliquote relative alla scelta di acquisto – Confronto scenari 2 e 8 (variazioni di costo con possibilità di ricaricare solo su strada).....	178
Figura 70 – Vantaggi dei veicoli elettrici in termini di riduzione di inquinamento	182
Figura 71 – Importanza di specifiche caratteristiche in fase di acquisto di un veicolo.....	183
Figura 72 – Risultati del test U di Mann-Whitney rispetto alla variabile “Conoscenza dei veicoli ad alimentazione elettrificata”.....	185
Figura 73 – Risultati del test U di Mann-Whitney rispetto alla variabile “Utilizzo dei veicoli ad alimentazione elettrificata, in ambito urbano”	185
Figura 74 – Variabili per le quali è necessario rifiutare l’ipotesi nulla di uguaglianza tra le fasi di indagine.....	186
Figura 75 – Modello originario ipotizzato	188
Figura 76 – Modello finale risultante.....	189
Figura 77 – Modello studiato con approccio CB-SEM.....	195
Figura 78- Relazione tra la probabilità di scegliere l'alternativa A ed il parametro θ	260
Figura 79- Rappresentazione generica della matrice varianza-covarianza	261
Figura 80- Rappresentazione della matrice varianza-covarianza nel modello Logit Multinomiale.....	262
Figura 81- Struttura di un modello Nested Logit ad un livello	262
Figura 82- Rappresentazione della matrice varianza-covarianza nel modello Logit Gerarchizzato	266
Figura 83- Struttura di correlazione CNL	266
Figura 84 –Aggiornamenti informativi tra la seconda e la terza fase dell'indagine - immagini informative generali	277
Figura 85 –Aggiornamenti informativi tra la seconda e la terza fase dell'indagine - Immagini con informazioni sulla ricarica e sull'autonomia.....	278
Figura 86 –Aggiornamenti informativi tra la seconda e la terza fase dell'indagine – Messaggi di testo	278

INDICE DELLE TABELLE

Tabella 1- Classificazione dei paradigmi teorici di natura economica	27
Tabella 2. Variazione degli attributi e relativi scenari	149
Tabella 3. Frequenze, indicatori di centralità e di dispersione per gli indicatori del costruito consumi	160
Tabella 4. Frequenze, indicatori di centralità e di dispersione per gli indicatori del costruito ambiente	161
Tabella 5. Frequenze, indicatori di centralità e di dispersione per gli indicatori del costruito tecnologia	162
Tabella 6. Frequenze, indicatori di centralità e di dispersione per gli indicatori del costruito norme sociali	163
Tabella 7. Analisi incrociata Scelta alimentazione in urbano-Genere	169
Tabella 8. Analisi incrociata Scelta alimentazione in urbano- Età	169
Tabella 9. Analisi incrociata Scelta alimentazione in extraurbano- Età.....	169
Tabella 10. Analisi incrociata Scelta alimentazione in urbano- Zona di residenza	170
Tabella 11. Analisi incrociata Scelta alimentazione in urbano- Possesso patente	170
Tabella 12. Analisi incrociata Scelta alimentazione in urbano- Parcheggio abituale	170
Tabella 13. Analisi incrociata Scelta alimentazione in urbano- Alimentazione posseduta.....	171
Tabella 14. Analisi incrociata Scelta alimentazione in urbano- Modalità di trasporto casa-studio	171
Tabella 15. Analisi incrociata Scelta alimentazione in extraurbano- Modalità di trasporto casa-studio	171
Tabella 16. Analisi incrociata Scelta alimentazione in urbano- km mediamente percorsi al giorno	171
Tabella 17. Analisi incrociata Scelta alimentazione in urbano- Conoscenza alimentazione Metano	172
Tabella 18. Analisi incrociata Scelta alimentazione in extraurbano- Conoscenza alimentazione Metano	172
Tabella 19. Analisi incrociata Scelta alimentazione in urbano- Conoscenza alimentazione GPL	172
Tabella 20. Analisi incrociata Scelta alimentazione in extraurbano- Conoscenza alimentazione GPL	173
Tabella 21. Analisi incrociata Scelta alimentazione in urbano- Conoscenza alimentazione Ibrida	173
Tabella 22. Analisi incrociata Scelta alimentazione in extraurbano- Conoscenza alimentazione Ibrida	173
Tabella 23. Analisi incrociata Scelta alimentazione in urbano- Conoscenza alimentazione Elettrica	173
Tabella 24. Analisi incrociata Scelta alimentazione in extraurbano- Conoscenza alimentazione Elettrica	174
Tabella 25. Analisi incrociata Scelta alimentazione in urbano- Emissioni inquinanti.....	174
Tabella 26. Analisi incrociata Scelta alimentazione in extraurbano- Emissioni inquinanti....	174
Tabella 27. Analisi incrociata Scelta alimentazione in extraurbano- Casa automobilistica....	175

Tabella 28. Frequenze, indicatori di centralità e di dispersione per gli indicatori del costrutto attitudine verso i veicoli elettrici	179
Tabella 29. Frequenze, indicatori di centralità e di dispersione per gli indicatori del costrutto Norme Soggettive.....	180
Tabella 30. Frequenze, indicatori di centralità e di dispersione per gli indicatori del costrutto PBC	181
Tabella 31. Ripartizione del campione nei diversi stadi del cambiamento	184
Tabella 32. Ripartizione del campione in termini di intenzione comportamentale ed effettivo comportamento.....	184
Tabella 33. Saturazioni esterne	190
Tabella 34. Affidabilità e validità convergente dei costrutti	190
Tabella 35. Validità discriminante - Cross loading	191
Tabella 36. Validità discriminante – Criterio di Fornell-Larcker.....	191
Tabella 37. Validità discriminante – HTMT	192
Tabella 38. VIF	192
Tabella 39. Coefficienti di percorso, t-test e p-value	193
Tabella 40. effect size f^2	193
Tabella 41. R^2 e Q^2	194
Tabella 42. effect size q^2	194
Tabella 43. Coefficienti di percorso, t-test e p-value per il modello utilizzato per il confronto tra i due approcci SEM.	195
Tabella 44. Saturazioni esterne e coefficienti di percorso con l’approccio CB-SEM.....	196
Tabella 45. Indici di bontà di adattamento dei dati	197
Tabella 46- Risultati per il modello MNL A.....	200
Tabella 47- Dati statistici per il modello A.....	204
Tabella 48- Risultati del modello MNL B1	204
Tabella 49- Dati statistici per il modello B1.....	207
Tabella 50- Risultati per il modello MNL B2	207
Tabella 51- Dati statistici per il modello B2.....	209
Tabella 52- Risultati per il modello MNL B3	210
Tabella 53- Dati statistici per il modello B3.....	212
Tabella 54- Risultati per il modello MNL B4	212
Tabella 55- Dati statistici per il modello B4.....	213
Tabella 56- Confronto tra le statistiche dei modelli.....	214
Tabella 57- MNL per scelta di utilizzo in ambito urbano.....	214
Tabella 58- Risultati del modello MNL per la scelta di acquisto	216
Tabella 59- Dati statistici per il MNL di scelta di acquisto.....	217
Tabella 60- Variabili latenti valide e affidabili e relativi indicatori e valori di saturazione	218
Tabella 61- Risultati del modello MNL per la scelta di acquisto (Con Latente Z2).....	219
Tabella 62- Risultati del modello strutturale e di misurazione per modello ibrido con variabile latente Z2	220
Tabella 63- Dati statistici per il MNL di scelta di acquisto con Z2	221
Tabella 64- Risultati del modello MNL per la scelta di acquisto (Con latente Z5).....	221

Tabella 65- Risultati del modello strutturale e di misurazione per modello ibrido con variabile latente Z5	222
Tabella 66- Dati statistici per il MNL di scelta di acquisto con Z5	223
Tabella 67- Risultati del modello MNL per la scelta di acquisto (Con latente Z2 + Z5).....	223
Tabella 68- Dati statistici per il confronto tra modelli	224
Tabella 69- Variabili latenti valide e affidabili e relativi indicatori e valori di saturazione	225
Tabella 70- Risultati del modello MNL per la scelta di acquisto (Con latente Z7)	226
Tabella 71- Risultati del modello strutturale e di misurazione per modello ibrido con variabile latente Z7	227
Tabella 72- Dati statistici per il MNL di scelta di acquisto con Z7	228
Tabella 73- Risultati del modello MNL per la scelta di acquisto (Con latente Z9)	228
Tabella 74- Risultati del modello strutturale e di misurazione per modello ibrido con variabile latente Z9	229
Tabella 75- Dati statistici per il MNL di scelta di acquisto con Z9	230
Tabella 76- Risultati del modello MNL per la scelta di acquisto (Con latenti Z7 e Z9).....	230
Tabella 77- Risultati del modello strutturale e di misurazione per modello ibrido con variabile latente Z7	231
Tabella 78- Risultati del modello strutturale e di misurazione per modello ibrido con variabile latente Z9	231
Tabella 79- Dati statistici per il MNL di scelta di acquisto con Z7 e Z9	232
Tabella 80- Risultati del modello MNL gerarchico con Z7 e Z9 – stima sequenziale	233
Tabella 81- Stime dell'equazione strutturale per la variabile latente intenzione comportamentale	233
Tabella 82- Dati statistici per il MNL gerarchico con Z7 e Z9 e stimato in maniera sequenziale	233
Tabella 83- Risultati del modello MNL gerarchizzato per la scelta di acquisto (Con latente Z7 che contribuisce a definire la ZIC) – stima simultanea	234
Tabella 84- Risultati del modello strutturale e di misurazione per modello ibrido gerarchizzato con variabile latente Z7 – stima simultanea	234
Tabella 85- Stime dell'equazione strutturale per la variabile latente intenzione comportamentale	235
Tabella 86- Dati statistici per il MNL gerarchico con Z7 – stima simultanea	235
Tabella 87. Indicatori e costrutti raccolti nella prima fase di indagine	275
Tabella 88. Indicatori e costrutti raccolti nella terza fase di indagine.....	279
Tabella 89. Attributi che figurano nelle funzioni di utilità e relativa descrizione.....	281

1 MOTIVAZIONI E SINTESI

1.1 MOTIVAZIONI

Nell'attuale contesto è ormai riconosciuta la necessità di perseguire congiuntamente, ed in diversi settori, una transizione ecologica e digitale; entrambe sono tuttavia perseguibili solo se si osserva una transizione comportamentale delle persone coinvolte.

In quest'ottica il presente progetto di ricerca focalizza su studio, interpretazione e modellazione dei comportamenti di scelte di mobilità degli utenti del settore trasporti, in contesti di scelta non tradizionali e, in generale, non facilmente interpretabili nell'ambito di un paradigma "utilitaristico".

Ad oggi, se lo scenario tecnologico nel settore dei trasporti è complesso e parzialmente consolidato, lo stesso non si può dire per lo studio degli impatti sulle scelte di viaggio/mobilità degli utenti, che richiede strumenti innovativi e coerenti con il rapido sviluppo sociale e culturale che la società sta osservando.

Finora, le scelte degli utenti sono state studiate perseguendo un approccio economico, assumendo, in accordo alla teoria dell'utilità aleatoria, che gli utenti siano perfettamente razionali, che associno a ciascuna alternativa di scelta un'utilità e che scelgano l'alternativa a cui attribuiscono la massima utilità. I modelli consolidati e basati sulla teoria dell'utilità aleatoria hanno permesso di interpretare e modellare le scelte degli utenti con un certo grado di affidabilità, ricorrendo a variabili strumentali direttamente osservabili e misurabili. Inoltre, lo sviluppo relativamente recente di modelli di scelta ibridi con variabili latenti ha permesso una migliore interpretazione dei fenomeni, introducendo la possibilità di considerare variabili non direttamente misurabili (attitudini e percezioni), pur utilizzando ancora un approccio utilitaristico.

Tuttavia, i processi decisionali sottesi alle scelte sono influenzati da molteplici determinanti, di cui si può tenere conto soltanto con un approccio psicologico. Quest'ultimo assume che il processo decisionale sia locale, adattivo, dipendente dal contesto di scelta e dai tratti personali degli utenti; In quest'ottica, nuovi paradigmi cognitivi che consentano di tener conto di maggiori determinanti delle scelte degli utenti andrebbero esplorati, congiuntamente agli approcci tradizionali.

Inoltre, rispetto alle attuali scelte di mobilità, che spesso richiedono una vera e propria transizione comportamentale (es. passaggio da auto privata a scelte di mobilità più sostenibili, passaggio da veicoli a combustione interna a veicoli elettrici o ibridi), si ritiene importante non solo esaminare la scelta degli utenti nel momento in cui viene effettuata, ma anche indagare il processo cognitivo che gli utenti attraversano prima di arrivare a una determinata scelta. Da questo aspetto deriva l'intenzione di esplorare le scelte degli utenti concentrandosi non solo su un'analisi puntuale, ma piuttosto su un processo evolutivo.

1.2 PROBLEMA DI RICERCA: I PARADIGMI INTERPRETATIVI E MODELLAZIONE DEL PROCESSO DECISIONALE

Una decisione è la scelta di intraprendere un'azione, tra più alternative disponibili (opzioni), da parte di un individuo o di un gruppo (decisore); il processo che porta alla decisione è detto processo decisionale (decision making). Si può parlare propriamente di decisione qualora il decisore abbia di fronte a sé una pluralità di opzioni.

Nel settore trasporti le scelte compiute dagli utenti rappresentano un tassello fondamentale per comprendere il funzionamento dello stesso. Lo scopo degli analisti è quello di modellare le suddette scelte degli utenti, ricorrendo a modelli che possiamo distinguere in interpretativi e simulativi. I primi focalizzano sul comprendere i principali fattori che influenzano le scelte degli utenti e le relazioni intercorrenti tra di essi; i secondi consentono di stimare delle aliquote di scelta per ciascuna alternativa presa in considerazione.

A seconda delle tipologie di scelta affrontate, che siano esse scelte di mobilità (scelte di ordine superiore, di più lungo periodo) o scelte di spostamento (di più breve periodo) l'approccio modellistico da preferire può variare.

Soprattutto quando l'analista deve modellare scelte di mobilità, si tende a prediligere una modellistica che consenta di interpretare al meglio i fenomeni, in quanto un aspetto imprescindibile richiesto oggi agli analisti del settore trasporti risiede nella capacità di trasferire alle amministrazioni, alle case automobilistiche e ai diversi stakeholder la conoscenza dei fattori che, di caso in caso, incidono sulle scelte degli utenti. La modellistica più avanzata deve quindi mirare a modelli interpretativi sempre più spinti che consentano di comprendere i reali pesi ricoperti anche da attributi non strumentali nell'influenzare le scelte degli utenti; inoltre la stessa deve tener conto del fatto che gli aspetti interpretativi possano evolversi in base a ciò che osserviamo e che viviamo.

La distinzione tra modellistica interpretativa e simulativa, allo stato attuale, trova le sue basi nei diversi paradigmi interpretativi che possono essere utilizzati per descrivere i comportamenti di scelta degli utenti. Seguendo il quadro proposto da Ben-Akiva et al. (1999), il comportamento di scelta può essere caratterizzato da un processo decisionale che è alimentato da percezioni e convinzioni basate sulle informazioni disponibili ed è influenzato da affetti, attitudini, motivazioni e preferenze.

Il processo cognitivo che guida il processo decisionale (DM) è il meccanismo mentale che definisce il ruolo di ciascuno dei suddetti fattori nel produrre una scelta. Quando affrontiamo la tematica dei processi decisionali ci riferiamo da un lato alla problematica relativa all'individuazione e schematizzazione degli elementi che concorrono alla scelta (da parte del decisore) e dall'altro alle procedure tecnico-matematiche adottate dall'analista per cogliere le preferenze del decisore. A tal proposito distinguiamo due concetti:

- Il concetto di paradigma interpretativo inteso come uno schema, all'interno del quale compaiono tanto i fattori che influenzano la scelta quanto le relazioni che intercorrono tra questi e la decisione del soggetto;
- Il concetto di paradigma teorico inteso come una traduzione quantitativa del processo decisionale mediante ipotesi operative, semplificazioni e approssimazioni.

L'economia e la psicologia hanno una visione radicalmente diversa del processo decisionale. In primo luogo, l'obiettivo principale degli psicologi è comprendere la natura degli elementi decisionali, come vengono stabiliti e modificati dall'esperienza e come determinano il comportamento. L'obiettivo principale degli economisti è la mappatura dagli input informativi alle scelte. Le preferenze, o i valori, sono trattati come determinanti dell'analisi e il processo decisionale come una scatola nera.

Storicamente l'approccio perseguito per la modellazione delle scelte degli utenti interpreta il processo decisionale secondo un paradigma economico. Quest'ultimo prevede un'ipotesi semplificativa dell'intero processo decisionale e vuole descrivere quantitativamente il "valore" della decisione. Il paradigma economico prevede la definizione di un modello comportamentale standard secondo cui gli utenti si comportano come dei consumatori che elaborano le informazioni a disposizione per formare delle credenze e che associano a ciascuna preferenza una utilità, per poi scegliere l'alternativa a cui attribuiscono la massima utilità. Questo approccio presuppone che il processo di scelta sia consistente e immutabile.

Quando si perseguono approcci modellistici più avanzati, basati sempre su un approccio economico è possibile tenere conto anche del ruolo delle attitudini nella definizione della massima utilità percepita per alternativa scelta.

Tuttavia, l'accumularsi di prove comportamentali contro il modello standard indica che i comportamenti non andrebbero analizzati sempre presupponendo una razionalità economica.

Pertanto, un approccio più comprensivo del processo decisionale può essere perseguito adottando un paradigma psicologico. Il paradigma psicologico è dominato dall'idea che il comportamento sia locale, adattivo, di apprendimento, dipendente dal contesto, mutevole e influenzato da complesse interazioni di percezioni, motivazioni, atteggiamenti e affetti.

Tale paradigma interpretativo non si traduce in un "modello standard" in quanto molti psicologi sostengono che non sia possibile o utile costruire un tale modello, pertanto è possibile solo identificare alcune delle principali caratteristiche della visione psicologica del processo decisionale.

Questo aspetto, però, si traduce in un elemento fondamentale di differenza tra i due approcci. L'approccio psicologico si traduce in teorie che possono essere studiate tramite una modellazione interpretativa che, per l'appunto, interpreta bene la situazione osservata considerando tutti i legami e i collegamenti logico funzionali, ma non consente di stimare le aliquote di scelta. Al contrario l'approccio economico si concretizza, in teorie economiche studiate con modelli econometrici (di natura modellistica) che consentono una discreta interpretazione dei fenomeni e la stima delle aliquote di scelta.

Di conseguenza, riconosciuta l'importanza di adottare una modellistica più avanzata che mira a modelli interpretativi sempre più spinti, il gap che va colmato nel caso in cui si persegua un approccio psicologico è quello di riuscire a studiare queste teorie psicologiche sia con una modellistica interpretativa che con una modellistica simulativa.

1.3 OBIETTIVI DELLA RICERCA

Due sono gli obiettivi da perseguire, rispettivamente di interesse metodologico ed operativo:

- 1) Individuare e formalizzare matematicamente approcci metodologici innovativi adeguati a studiare contesti di scelta non tradizionali e, in generale, non facilmente interpretabili nell'ambito di un paradigma "utilitaristico";
- 2) Investigare l'efficacia degli approcci metodologici innovativi su casi studio reali (es. penetrazione di mercato di veicoli elettrici).

Per i suddetti motivi, il presente lavoro di ricerca investiga un nuovo approccio metodologico che prevede l'applicazione congiunta di due paradigmi psicologici, ovvero la Teoria del comportamento pianificato (Theory of Planned Behavior, TPB) e il modello transteorico (Transtheoretical model, TTM) al fine di verificare se lo stadio del cambiamento possa influenzare direttamente l'intenzione comportamentale degli utenti.

Tale approccio metodologico viene testato ed applicato ad un contesto di scelta che ben si presta ad essere inteso come risultato di un processo evolutivo piuttosto lungo, ovvero l'acquisto di un veicolo ad alimentazione alternativa (ibrido plug-in o elettrico) rispetto alle soluzioni proposte tradizionalmente nel contesto italiano (Benzina, Diesel, GPL e Metano).

1.4 CONTRIBUTO DELLA RICERCA

Come riportato anche in Langbroek, (2018), il passaggio da un veicolo con motore a combustione interna a un veicolo elettrico comporta un cambiamento comportamentale. La questione della gravità dei cambiamenti nel livello di mobilità di una persona non è banale ed i due obiettivi che ci si è prefissati in termini di ricerca non possono che essere trattati congiuntamente.

A tal fine il presente lavoro, applicato ad un caso studio che esamina la propensione all'utilizzo e all'acquisto di un veicolo ad alimentazione alternativa, esplora:

- (i) **L'applicabilità congiunta di più di un paradigma interpretativo** → L'idea di considerare congiuntamente l'applicabilità della teoria del comportamento pianificato e del transteorico è il cuore dell'approccio metodologico innovativo proposto. Infatti, non si può più non riconoscere che alcune scelte non siano puntuali, ma piuttosto siano il risultato di un processo evolutivo, di una vera e propria transizione comportamentale. Di questo aspetto bisogna esplicitamente tenerne conto quando si interpretano e si simulano le scelte degli utenti, soprattutto se si tratta di scelte di mobilità (di ordine gerarchicamente superiore).
- (ii) **I costrutti che influenzano l'intenzione di acquistare un'auto ad alimentazione alternativa** → Oggigiorno l'analista deve prediligere una modellistica che consenta di interpretare al meglio i fenomeni, in quanto un aspetto imprescindibile richiesto oggi agli analisti del settore trasporti risiede nella capacità di trasferire alle amministrazioni, alle case automobilistiche e ai diversi stakeholder la conoscenza dei fattori che, di caso in caso, incidono sulle scelte degli utenti.
- (iii) **L'impiego dei modelli ad equazioni strutturali per lo studio del nuovo framework metodologico proposto** → la modellazione interpretativa che in genere viene utilizzata per studiare le teorie derivanti dall'approccio psicologico consiste essenzialmente nell'implementazione di modelli ad equazioni strutturali. Esistono due filoni di studio che si concretizzano nell'utilizzo dell'approccio PLS-SEM o in quello dell'approccio CB-SEM. In letteratura è spesso dibattuto quale sia l'approcci più corretto da utilizzare. Per lo studio in esame l'approccio più consono da utilizzare è parso quello PLS-SEM; tuttavia il modello validato è stato altresì studiato con approccio CB-SEM.

- (iv) **L'impiego di modelli di scelta discreta consolidati** → questa operazione ha come fine ultimo quello di individuare quale sia il miglior insieme di scelta da prendere in considerazione nonché la costituzione di modelli di benchmark rispetto ai quali confrontare i risultati derivanti da approcci più avanzati
- (v) **L'impiego di modelli di scelta ibridi** → questa operazione ha come fine ultimo quello di individuare quali fattori latenti possono influenzare le scelte di acquisto degli utenti, la loro entità, e il miglioramento (in termini interpretativi e simulativi) eventualmente ottenuto considerando tali fattori. I fattori latenti cui si fa riferimento sono quelli generalmente esplorati in letteratura con riferimento al contesto di scelta esaminato: attitudine verso l'ambiente, attitudine verso la tecnologia, percezione dei consumi, norme sociali, percezione dei vantaggi dei veicoli elettrici e percezione degli svantaggi dei veicoli elettrici.
- (vi) **L'impiego di modelli di scelta ibridi basati su paradigmi psicologici** → Con questo contributo si cerca di colmare la principale limitazione dell'approccio psicologico, ovvero la mancata trasformazione in una modellistica simulativa. A tal fine, i costrutti postulati dalla teoria del comportamento pianificato (e derivanti quindi da considerazione di natura interpretativa) sono stati inseriti, sottoforma di variabili latenti, nei modelli di scelta. In tal modo, pur considerando ancora una modellazione utilitaristica si è estesa l'esplorazione verso costrutti derivati da una teoria psicologica.
- (vii) **L'impiego di modelli avanzati, che pur basandosi su un approccio di stima utilitaristico (massimizzazione della funzione di utilità) vengano costruiti a partire dal nuovo framework metodologico proposto ed investigato** → con questa operazione si cerca di colmare a pieno il gap tra approccio interpretativo ed approccio simulativo. Tale step consiste nell'implementare dei modelli ibridi gerarchici per riprodurre tutte le relazioni tra i costrutti ipotizzati nella TPB o eventualmente nel quadro metodologico proposto (TPB+TTM) direttamente nel modello di scelta; si cerca quindi di tener conto anche delle relazioni intercorrenti tra i diversi costrutti derivanti dalle teorie psicologiche e non solo dei costrutti stessi.

Gli avanzamenti proposti non sono stati esenti da complessità ed hanno anche consentito di evidenziare alcuni aspetti che potrebbero essere migliorati nell'ottica di futuri step di ricerca.

1.5 PROSPETTO DELLA TESI

La tesi in esame si articola in ulteriori sei capitoli.

Nel capitolo due viene inquadrata l'intera problematica legata ai processi decisionali. In particolare si esamina l'architettura del processo decisionale e si discute delle differenze tra paradigmi interpretativi di natura economica e psicologica. A seguire, il capitolo si incentra sullo sviluppo della teoria economica, ripercorrendo un excursus storico delle principali tappe di sviluppo e dei principali paradossi che gli vengono recriminati e da cui discenderanno alcune teorie (come la teoria del rimpianto e quella del prospetto, recentemente utilizzate anche nel settore trasporti) di cui si propone un richiamo al paragrafo 2.6. Il capitolo, si concentra poi sul passaggio tra la teoria economica ed i modelli di scelta che da essa discendono, distinguendo tra modelli consolidati e modelli ibridi più avanzati.

Si associa a tale capitolo l'appendice A, che presenta una disamina più avanzata dei modelli di scelta consolidati, riportando per ciascuno di essi la struttura e la formalizzazione matematica.

Il capitolo 3, invece, è completamente dedicato all'approccio psicologico. In tale capitolo viene proposto uno stato dell'arte in cui si discutono tutte le teorie psicologiche che negli ultimi anni hanno trovato applicazione anche nel settore trasporti, sebbene siano state adottate sempre con una modellazione interpretativa.

Il capitolo 4, invece, è un capitolo dedicato interamente alla modellistica. Esso racchiude tutti i richiami teorici necessari per una facile comprensione dei passaggi svolti con riferimento al caso studio proposto e per l'interpretazione dei risultati. In particolare in questo capitolo si fa riferimento a diverse analisi preliminari necessarie per lo studio dei dati a disposizione, alla modellazione ad equazione strutturale, sia con approccio PLS-SEM che con approccio CB-SEM e alla specificazione, calibrazione e validazione dei modelli di scelta discreta, ibridi ed avanzati.

Il capitolo 5 è dedicato al caso studio esaminato e con il quale si assestano gli obiettivi ed i contributi della ricerca.

In particolare, in questo capitolo si presta attenzione a:

- Definire il contesto sperimentale e l'indagine da cui vengono estrapolati i dati su cui sono fondate tutte le analisi. Si associa a questo paragrafo l'appendice B, recante alcuni dettagli direttamente estrapolati dall'indagine.
 - Definire l'analisi preliminare dei dati, sulla scorta della quale è stato possibile scegliere quale approccio effettivamente perseguire da un punto di vista modellistico, quali dati poter utilizzare e con che finalità.
 - Lo studio del nuovo approccio modellistico proposto, svolto tramite modellazione ad equazioni strutturali. Si presentano i principali risultati ottenuti e si determina quali delle relazioni inizialmente ipotizzate possano essere accettate con una certa significatività statistica.
 - Riprodurre le scelte di utilizzo in ambito urbano di automobili con alimentazioni alternative
 - Riprodurre le scelte di acquisto di automobili con alimentazioni alternative, implementando approcci modellistici con diversi gradi di difficoltà e diversi gradi di dettaglio.
- Si allega ai paragrafi relativi ai modelli di scelta l'appendice C, che fornisce una descrizione degli attributi considerati nei modelli di scelta.

Il capitolo 6 discute i principali risultati mostrati nel capitolo 5, mentre il capitolo 7 conclude la tesi, riassumendo, per tutti i contributi di ricerca elencati al paragrafo 1.4, i risultati ottenuti. Nello stesso capitolo si discutono anche i principali limiti riscontrati per lo studio condotto.

2 Approccio Economico alla modellazione di comportamenti di scelta: Inquadramento Metodologico

2.1 IL PROCESSO DECISIONALE E I PARADIGMI INTERPRETATIVI

Una decisione è la scelta di intraprendere un'azione, tra più alternative disponibili (opzioni), da parte di un individuo o di un gruppo (decisore); il processo che porta alla decisione è detto processo decisionale (decision making). Si può parlare propriamente di decisione qualora il decisore abbia di fronte a sé una pluralità di opzioni.

Lo studio delle decisioni può essere effettuato in modo descrittivo e normativo. Chi adotta un approccio descrittivo cerca di scoprire come effettivamente vengono prese le decisioni nei diversi contesti; invece, chi adotta un approccio normativo cerca di individuare il modo con cui le decisioni dovrebbero essere prese facendo riferimento a ideali decisori razionali (teoria economica della decisione). Per poter decidere in modo razionale, il decisore deve conoscere le opzioni disponibili e le conseguenze che possono scaturire da ciascuna. Spesso, però, il decisore non dispone di informazioni complete, nel senso che ignora talune opzioni o non è in grado di prevedere tutte le conseguenze ad esse associate. D'altra parte le conseguenze delle decisioni non dipendono solo dal corso d'azione prescelto ma anche dalle condizioni del contesto nel quale il processo decisionale si svolge, il cosiddetto stato di natura. Secondo il grado di conoscenza dello stato di natura da parte del decisore si distinguono:

- decisioni in situazioni di certezza, se il decisore conosce lo stato di natura;
- decisioni in situazioni di rischio, se il decisore, pur non conoscendo lo stato di natura, dispone tuttavia di una misura della probabilità associata a ciascun possibile stato di natura;
- decisioni in situazioni di incertezza, se il decisore non conosce né lo stato di natura né le probabilità associate ai possibili stati di natura.¹

In conseguenza di quanto appena detto prendere una decisione non risulta un'operazione semplice; tantomeno risulta semplice interpretare e simulare le scelte degli individui da parte di terzi.

Nel settore trasporti le scelte compiute dagli utenti rappresentano un tassello fondamentale per comprendere il funzionamento dello stesso. Lo scopo degli analisti è quello di modellare le suddette scelte degli utenti, ricorrendo a modelli che possiamo distinguere in interpretativi e simulativi. I primi sono rivolti a comprendere i principali fattori che influenzano le scelte degli utenti e le relazioni intercorrenti tra di essi; i secondi sono rivolti a definire delle aliquote di scelta per ciascuna alternativa presa in considerazione.

A seconda delle tipologie di scelta affrontate, che siano esse scelte di mobilità (scelte di ordine superiore, di più lungo periodo) o scelte di spostamento (di più breve periodo) l'approccio modellistico da preferire può variare.

Soprattutto quando l'analista deve modellare scelte di mobilità, si tende a prediligere una modellistica che consenta di interpretare al meglio i fenomeni, in quanto un aspetto imprescindibile richiesto oggi agli analisti risiede nella capacità di trasferire alle amministrazioni, alle case automobilistiche e ai diversi stakeholder la conoscenza dei fattori che, di caso in caso, incidono sulle scelte degli utenti. La modellistica più avanzata deve quindi mirare a modelli interpretativi sempre più spinti che consentano di comprendere i reali pesi ricoperti anche da attributi non strumentali nell'influenzare le scelte degli utenti; inoltre la stessa deve tener conto del fatto che gli aspetti interpretativi possano evolversi in base a ciò che osserviamo e che viviamo.

La distinzione tra modellistica interpretativa e simulativa, allo stato attuale, trova le sue basi nei diversi paradigmi interpretativi che possono essere utilizzati per descrivere i comportamenti di scelta degli utenti. Seguendo il quadro proposto da Ben-Akiva et al. (1999), il comportamento di scelta può essere caratterizzato da un processo decisionale che è alimentato da percezioni e convinzioni basate sulle informazioni disponibili ed è influenzato da affetti, attitudini, motivazioni e preferenze.

¹ Maggiori dettagli su questa distinzione verranno forniti nel paragrafo successivo.

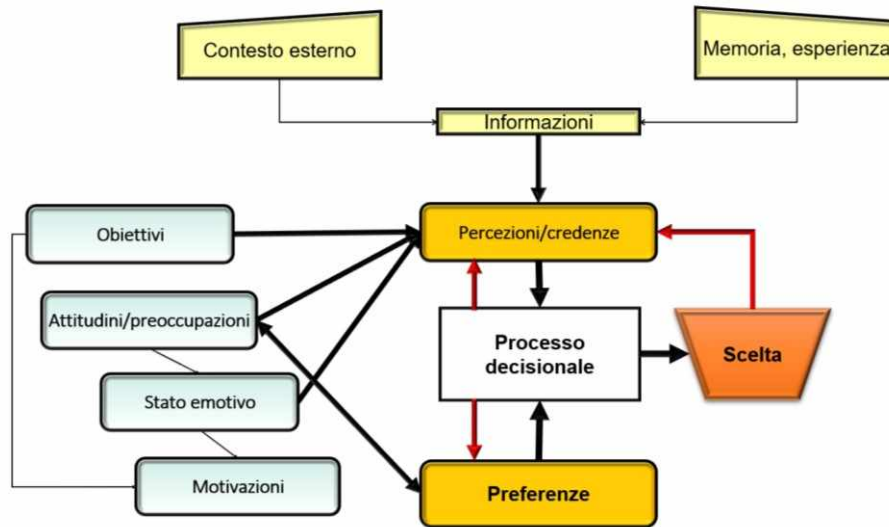


Figura 1- Quadro teorico per la modellazione dei comportamenti di scelta – adattato da Ben-Akiva et al., 1999

In letteratura sono fornite diverse definizioni per i suddetti fattori.

Gli atteggiamenti (o attitudini) sono definiti come tendenze psicologiche stabili nel valutare particolari entità (risultati o attività) con favore o sfavore (Ben-Akiva et al.,1999). Essi si riferiscono alle abitudini degli utenti e al loro approccio nella società; in un contesto di scelta, le attitudini possono essere o meno correlate alle alternative. Secondo Walker (2001) l'attitudine riflette l'atteggiamento, i valori, i gusti e le capacità dei singoli individui. L'attitudine individuale si forma nel tempo ed è influenzata dall'esperienza maturata e da fattori esterni, come per esempio le caratteristiche socioeconomiche.

Le percezioni si riferiscono all'interpretazione e alla reazione degli utenti ad uno stimolo (Pickens, 2005). A differenza delle attitudini le percezioni sono in genere correlate alle alternative appartenenti all'insieme di scelta; le percezioni rappresentano la stima o una misura del valore che gli individui associano ai livelli degli attributi delle alternative (Walker, 2001). Il processo di scelta dovrebbe pertanto basarsi sui livelli di percezione degli attributi.

Gli affetti si riferiscono allo stato emotivo del decisore e al suo impatto sulla cognizione del compito decisionale. Le motivazioni sono pulsioni dirette verso gli obiettivi prefissati. Le preferenze sono giudizi comparativi tra entità (Ben-Akiva et al.,1999).

Inoltre, il processo decisionale e le scelte degli utenti possono, a loro volta, condizionare percezioni, credenze e preferenze (freccie in rosso)².

Il processo cognitivo che guida il processo decisionale (DM) è il meccanismo mentale che definisce il ruolo di ciascuno dei suddetti fattori nel produrre una scelta. Va a questo punto sottolineato che quando affrontiamo la tematica dei processi decisionali ci riferiamo da un lato alla problematica relativa all'individuazione e schematizzazione degli elementi che concorrono alla scelta (da parte del decisore) e

² Questa relazione di feedback, come riconosciuto in letteratura, è spesso direttamente influenzata quando si effettua un'indagine per comprendere le preferenze degli intervistati. Esperimenti interattivi accuratamente progettati possono aiutare a far luce su come il processo e le preferenze interagiscono nel produrre le risposte (Delquie, 1997). Il feedback tra osservazione e decisione è pertanto una questione di ricerca aperta. Ad esempio, come si possono ottenere informazioni sul processo senza influenzare il processo stesso? Se vogliamo testare un comportamento governato, suggerire un elenco di regole tra cui scegliere può influenzare le regole che verranno poi utilizzate. Anche in questo caso, tuttavia, un disegno sperimentale intelligente può consentire di verificare le ipotesi sul processo con un'interferenza minima, ad esempio confrontando i risultati di compiti strettamente correlati, come nel caso di Casey e Delquie (1995).

dall'altro alle procedure tecnico-matematiche adottate dall'analista per cogliere le preferenze del decisore. A tal proposito distinguiamo due concetti:

- Il concetto di paradigma interpretativo inteso come uno schema, all'interno del quale compaiono tanto i fattori che influenzano la scelta quanto le relazioni che intercorrono tra questi e la decisione del soggetto;
- Il concetto di paradigma teorico inteso come una traduzione quantitativa del processo decisionale mediante ipotesi operative, semplificazioni e approssimazioni.

Rispetto al suddetto processo cognitivo è possibile individuare tre diversi paradigmi interpretativi che tengano conto di tutte o di alcune delle possibili relazioni che influenzano i comportamenti di scelta: paradigma psicologico, paradigma economico e paradigma statistico.

L'economia e la psicologia hanno una visione radicalmente diversa del processo decisionale. In primo luogo, l'obiettivo principale degli psicologi è comprendere la natura degli elementi decisionali, come vengono stabiliti e modificati dall'esperienza e come determinano il comportamento. L'obiettivo principale degli economisti è la mappatura dagli input informativi alle scelte. Le preferenze, o i valori, sono trattati come determinanti dell'analisi e il processo decisionale come una scatola nera.

Storicamente l'approccio perseguito per la modellazione delle scelte degli utenti interpreta il processo decisionale secondo un paradigma economico. Quest'ultimo prevede un'ipotesi semplificativa dell'intero processo decisionale e vuole descrivere quantitativamente il "valore" della decisione.

Il paradigma economico prevede la definizione di un modello comportamentale standard secondo cui gli utenti si comportano come dei consumatori che elaborano le informazioni a disposizione per formare delle credenze e che associano a ciascuna preferenza una utilità, per poi scegliere l'alternativa a cui attribuiscono la massima utilità. Questo approccio presuppone che il processo di scelta sia consistente e immutabile.

Il modello standard sotteso dal paradigma economico è associato a flussi unidirezionali dalle percezioni e dai gusti al compito cognitivo di massimizzazione delle preferenze.

Quando si perseguono approcci modellistici più avanzati, basati sempre su un approccio economico è possibile tenere conto anche del ruolo delle attitudini nella definizione della massima utilità percepita per alternativa scelta.

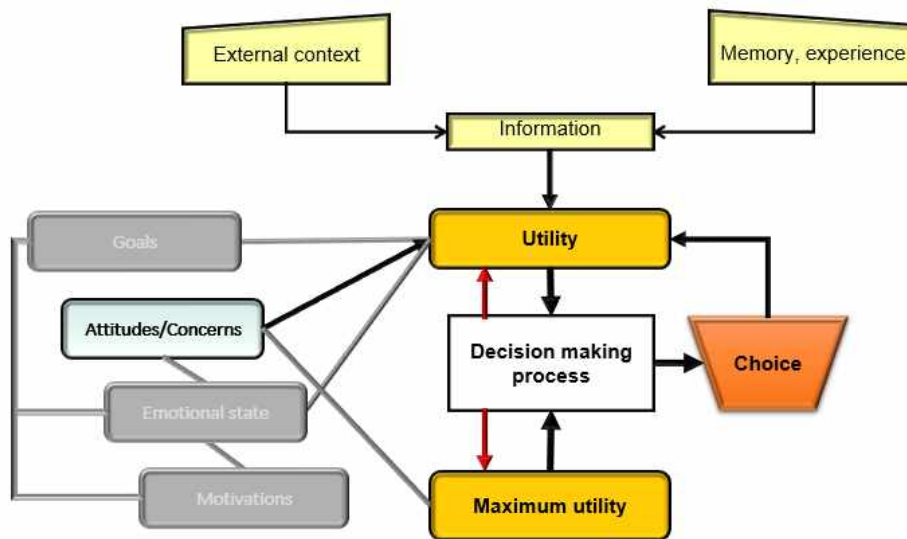


Figura 2- Il paradigma interpretativo economico – adattato da Ben-Akiva et al., 1999

Questa visione della razionalità è praticamente inconfutabile fino a quando non si inizia a valutare il modo in cui le preferenze si modificano con l'esperienza in occasioni di scelta successive.

Tversky e Kahneman (1974) hanno dedicato attenzione allo studio sperimentale delle anomalie cognitive: circostanze in cui un individuo mostra sorprendenti scostamenti dalla razionalità. Gli studi dimostrano che gli individui, posti di fronte a compiti decisionali in contesti sperimentali accuratamente costruiti, spesso mostrano un comportamento incoerente con l'ipotesi del modello razionale. I decisori hanno

difficoltà a gestire le informazioni e a formare percezioni coerenti, utilizzano euristiche decisionali che possono non massimizzare le preferenze e sono troppo sensibili al contesto per soddisfare i postulati della razionalità.

È possibile che il modello standard di razionalità funzioni bene in alcune circostanze, in cui la ripetizione, il contesto esterno e l'esperienza addestrino i consumatori ad adottare regole di comportamento coerenti con la razionalità. È anche possibile che i consumatori si conformino al modello razionale in alcuni momenti del processo decisionale, ma non in altri. (Camerer (1997), Rabin (1998) e Thaler (1991)).

L'accumularsi di prove comportamentali contro il modello standard indica che i comportamenti non andrebbero analizzati sempre presupponendo una razionalità economica. D'altro canto, poiché non possiamo mai misurare tutti gli aspetti del complesso ciclo di vita delle scelte dei consumatori, non siamo mai sicuri che ciò che sembra essere un comportamento irrazionale in una finestra temporale limitata non sia parte di una razionalità generale, di un grande disegno strategico.

Per i suddetti motivi un approccio più comprensivo del processo decisionale può essere perseguito adottando un paradigma psicologico.

Il paradigma psicologico è dominato dall'idea che il comportamento sia locale, adattivo, di apprendimento, dipendente dal contesto, mutevole e influenzato da complesse interazioni di percezioni, motivazioni, atteggiamenti e affetti.

Tale paradigma interpretativo non si traduce in un "modello standard" in quanto molti psicologi sostengono che non sia possibile o utile costruire un tale modello, pertanto è possibile solo identificare alcune delle principali caratteristiche della visione psicologica del processo decisionale.

L'elemento centrale è il processo attraverso il quale entrano in gioco elementi come le percezioni e gli atteggiamenti. Le attitudini e gli affetti concorrono a determinare la motivazione e la strutturazione del compito cognitivo; inoltre atteggiamenti e affetti influenzano anche le percezioni. Infine, ci può essere un feedback, dal processo e dalla scelta agli atteggiamenti e alle percezioni, mentre il decisore riconcilia e razionalizza la scelta del processo. Le preferenze possono avere un ruolo nella visione psicologica, così come la massimizzazione, ma competono con altre euristiche per definire e risolvere il compito cognitivo (Ben-Akiva et al., 1999).

L'emozione non solo induce a decisioni impulsive, ma influenza anche le percezioni Loewenstein (1996). È stato dimostrato che gli stati motivazionali e affettivi dell'individuo hanno profondi effetti sul processo decisionale. Qualora una decisione fosse percepita per qualche motivo come meno importante di altre, l'individuo sarebbe meno motivato a investire nello sforzo richiesto (Payne et al., 1993).

Inoltre si presume che il processo decisionale influenzi le credenze anche attraverso l'esperienza e la memoria. In tal modo alcuni dei cosiddetti "bias" del processo decisionale sono meglio compresi come cambiamenti adattivi del processo stesso (Gigerenzer and Goldstein, 1996; Gärling et al., 1997).

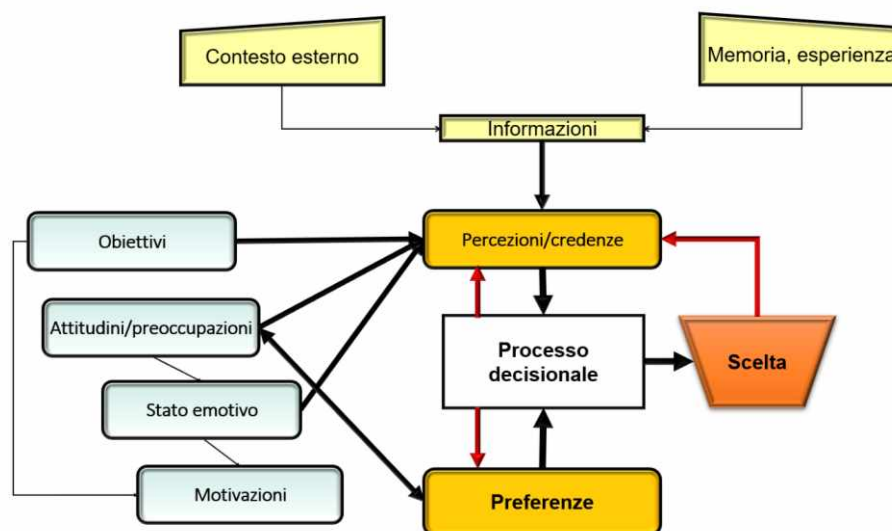


Figura 3- Il paradigma interpretativo psicologico – adattato da Ben-Akiva et al., 1999

A questi due paradigmi interpretativi, negli ultimi decenni se ne è affiancato un altro, il paradigma statistico. Esso consiste in un approccio input-output che non prevede alcuna ipotesi circa i processi che hanno condotto ad una certa decisione (black-box). Tale approccio è quello generalmente perseguito quando le scelte degli utenti vengono esaminate attraverso algoritmi di machine learning o di intelligenza artificiale.

Un'importante distinzione tra paradigmi interpretativi è quella tra paradigmi comportamentali e paradigmi non comportamentali. I primi si interessano del processo decisionale o fanno ipotesi sul comportamento del decisore, gli altri no. Per quanto fin qui detto risulta chiaro che mentre il paradigma economico e quello psicologico possono essere classificati come paradigmi comportamentali, il paradigma statistico risulta invece un paradigma non comportamentale.

2.2 DAI PARADIGMI INTERPRETATIVI AI PARADIGMI TEORICI

Sulla scorta di questo quadro descrittivo dei paradigmi interpretativi è possibile individuare una logica di classificazione dei paradigmi teorici che si fonda su due criteri:

- Strategia decisionale
- Natura dell'informazione

Una strategia decisionale è definita come una sequenza di operazioni mentali che possono essere rappresentate tramite la relazione "SE (condizione uno ..., condizione n) ALLORA (azione uno ..., azione n)", ossia operazioni cognitive e conative (azioni sull'ambiente) usate per trasformare lo stato iniziale di conoscenza in uno stato di conoscenza finale in cui il decisore considera il problema decisionale come risolto (Payne, Bettman, Johnson, 1992). La strategia decisionale per elaborare l'informazione varia secondo il numero di alternative che devono essere considerate. Raramente le persone utilizzano strategie decisionali che implicano l'elaborazione estensiva di tutte le informazioni rilevanti.

Le strategie decisionali possono essere classificate in base a:

- l'ammontare dell'elaborazione; ogni strategia può essere distinta in base alla proporzione d'informazione disponibile che viene considerata. Indipendentemente dalla dal tipo di elaborazione richiesta l'ammontare delle informazioni esaminate può variare, da minimale ad esaustivo.
- elaborazione alternative-based o attribute-based;
- elaborazione compensatoria o non compensatoria; la distinzione avviene in base alla possibilità di bilanciamento tra i valori dei vari attributi. Una strategia compensatoria, ad esempio, consente ad un attributo positivo di un'alternativa di compensare un altro attributo negativo della stessa.
- elaborazione omogenea o selettiva; l'ammontare dell'elaborazione delle informazioni può essere omogeneo o meno tra le alternative e gli attributi. In generale si può assumere che un'elaborazione delle informazioni attraverso le alternative sia indicativa di una strategia decisionale più compensatoria (Payne, 1976). Il trattamento dell'informazione implica, in alcuni casi, l'esame di tutte le informazioni per ogni alternativa ed attributo; mentre un trattamento di tipo selettivo esclude la condizione che le informazioni addizionali possano cambiare la presa di decisione
- elaborazione sequenza-dipendente o non sequenza-dipendente; l'ordine con il quale vengono processati attributi o alternative può o meno influenzare la scelta.

In generale gli individui fanno un uso flessibile delle strategie adattandole al contesto. Non è infrequente l'uso combinato di più strategie decisionali.

Se il paradigma interpretativo è di natura psicologica tra le strategie più importanti che possono essere adottate abbiamo:

- Somma non ponderata (Equal weight: EQW); La scelta avviene dalla somma semplice dei valori per ciascuna alternativa su tutti gli attributi. Tale trattamento strategico esamina tutte le alternative e tutti i valori attributi per ciascuna alternativa, pur ignorando le informazioni relative all'importanza o alla probabilità di ciascun attributo (Dawes, 1979).
- Somma ponderata (Weighted Additive rule: WADD); L'utilizzazione di tale strategia richiede che vengano considerati i valori di ciascuna alternativa su tutti gli attributi rilevanti: si considera

l'importanza o il peso dei vari attributi rispetto al decisore (Payne et al., 1993). La scelta avviene in base al calcolo delle somme dei valori di ogni alternativa su ogni attributo ponderati per l'importanza di quest'ultimo.

- Soddisfazione (Satisfaction: SAT); Tale strategia è stata una delle prime ad essere identificata nella letteratura della presa di decisione (Simon, 1955). Con questa strategia si prende in considerazione una sola alternativa alla volta e si comparano i valori di ciascun suo attributo con un predefinito valore soglia, spesso definito come livello di aspirazione. La prima alternativa che non presenta alcun valore sotto soglia viene scelta; al contrario se nessun valore attributo si pone sotto la soglia, tale alternativa viene rifiutata.
- Lessicografica (Lexicographic heuristic: LEX); la procedura lessicografica determina l'attributo più importante e esamina i valori di tutte le alternative su quell'attributo: l'alternativa con il valore più alto sull'attributo più importante viene selezionata. Se due alternative presentano lo stesso valore rispetto all'attributo più importante si passa al processamento del secondo attributo più importante, e così via fino a che non viene identificata un'alternativa di scelta (Fishburn, 1974).
- Lessicografica semiordine (Lexicographic semiorder LEX-SEMI); Funziona come la procedura lessicografica, con l'ipotesi aggiuntiva di una differenza trascurabile. Le coppie di alternative con una differenza trascurabile tra i valori degli indizi non vengono discriminate (Luce, 1956).
- Eliminazione per dimensioni (Elimination by aspect: EBA); Una scelta strategica EBA inizia con la determinazione dell'attributo più importante: la scelta avviene eliminando le alternative che abbiano sugli attributi più importanti dei valori sotto una certa soglia (Tversky, 1972).
- Maggioranza delle dimensioni da confermare (Magiority of confirming dimension: MCD); tale euristica implica l'elaborazione di coppie di alternative: i valori di ciascuna delle due alternative sono confrontati su ciascun attributo e le alternative con una maggioranza di attributi vincenti viene mantenuta; in seguito le alternative rimaste vengono comparate con l'alternativa successiva rispetto ad un set di alternative. Tale processo di confronto a coppie si ripete fino a quando tutte le alternative sono state valutate, e l'alternativa finale "vincente" non è stata definita (Russo e Doshier, 1983).
- Casuale (Random: RND); La scelta avviene senza consultare alcuna informazione disponibile. Tale strategia può essere utilizzata in caso di pressione temporale o di elevata complessità del compito di decisione (Payne, Bettman e Johnson, 1990).

Se il paradigma interpretativo è di natura economica, invece, la strategia usualmente adottata è quella di massimizzare l'utilità percepita dall'utente. In accordo al paradigma interpretativo economico, l'individuo si comporta come un consumatore razionale. D'altro canto, un aspetto fondamentale riconosciuto in ambito della teoria delle decisioni comportamentali è che gli esseri umani sono elaboratori di informazioni cognitivamente limitati (Simon, 1978). Le persone non sempre hanno le conoscenze e le capacità di calcolo necessarie per raggiungere il grado di razionalità prescritto dai modelli normativi di scelta e pertanto talvolta sviluppano una serie di "euristiche" o scorciatoie cognitive che permettono loro di agire e prendere decisioni generalmente ragionevoli, nonostante le loro limitazioni cognitive (Kahneman, Slovic, & Tversky, 1982; Tversky & Kahneman, 1974). In questi casi, il comportamento umano è ancora intenzionale (e dunque lo schema del processo decisionale può ancora essere assimilato a quello assunto seguendo un approccio economico), ma è caratterizzato da una "razionalità limitata" piuttosto che dalla razionalità ideale postulata dalle teorie economiche del processo decisionale (Simon, 1955). In questi casi, quindi, la strategia decisionale adottata potrebbe consistere nella massimizzazione di una funzione di valore o nella minimizzazione di una funzione di rimpianto.

Nel caso in cui si ricorra ad un paradigma interpretativo economico, un altro elemento sulla scorta del quale vengono distinti i diversi paradigmi teorici riguarda la natura delle informazioni che l'utente possiede quando effettua le proprie scelte. Quando si effettua una scelta si suppone che un utente prenda in considerazione tre tipologie di informazioni, che gli consentano di specificare completamente il futuro. Queste tre tipologie di informazioni vengono indicate come:

- Stato di natura; gli utenti conoscono tutte le possibili, potenziali conseguenze delle proprie azioni. Le combinazioni di queste conseguenze individuano gli stati di natura.
- Influenza degli esiti; gli individui devono anche sapere come ciascun possibile stato di natura può influenzare l'utilità associata a ciascuna alternativa di scelta e quindi le proprie preferenze.

- Distribuzione di probabilità; gli utenti devono associare a ciascuno stato di natura una distribuzione di probabilità.

La conoscenza relativa a queste tre tipologie di informazioni può essere più o meno afflitta da variabilità; Sulla base di questo possiamo distinguere tre contesti diversi in cui un individuo si trova a dover prendere delle decisioni:

- **Contesto di certezza:** esiste un legame biunivoco tra scelta e conseguenza, ad ogni scelta corrisponde una sola conseguenza. Le informazioni a disposizione in questo contesto sono sicure e sufficienti per prendere una decisione certa. Quindi in condizioni di certezza, i risultati derivanti dalle decisioni prese ex ante sono noti anche se i risultati si realizzano ex post. Se questa situazione non si verifica (il decisore non ha certezza di tutti gli stati di natura) si parla di ambiguità.
- **Contesto di rischio:** in questo contesto le informazioni sono legate ad eventi casuali, ma con una nota probabilità di verificarsi (ad esempio come nel lancio di un dado o di una moneta dove è possibile associare una distribuzione di probabilità, cioè una lista delle probabilità associate a ciascun evento).
- **Contesto di incertezza:** a differenza delle situazioni caratterizzate da rischio, in questo contesto a ciascuna azione corrispondono più conseguenze. Le informazioni dipendono da eventi casuali ai quali non si può associare una probabilità certa al verificarsi degli eventi futuri. Proprio la scarsa conoscenza o le poche informazioni su un evento creano incertezza, quindi è importante avere il maggior numero di informazioni per poterla ridurre.

Sostanzialmente la differenza tra rischio e incertezza è nelle capacità o meno di associare una probabilità matematica ai vari eventi (Knight, 1921); si può considerare il rischio come “misura quantificabile” e l’incertezza come “misura non quantificabile”. In ambito economico spesso il termine incertezza e il termine rischio sono considerati sinonimi.

Nella maggior parte delle decisioni, il decisore deve scegliere tra prospettive che sono in incerte. Tali prospettive incerte o rischiose sono caratterizzate, nella loro forma più semplice, da due componenti: il valore (oggettivo o soggettivo) che si ottiene quando si sceglie una certa azione e si verifica uno stato di natura, e le probabilità (oggettive o soggettive) che gli stati di natura si verifichino.

I paradigmi teorici derivati da un paradigma interpretativo di tipo economico possono essere classificati in base a queste quattro possibili combinazioni di valori oggettivi o soggettivi e probabilità. La tabella che segue chiarisce meglio la seguente classificazione dei paradigmi teorici derivati da un paradigma interpretativo di tipo economico. Ciascuno di questi paradigmi trova una propria formulazione modellistica, ragion per cui, d’ora in avanti, ci riferiremo ad essi anche in termini di modello.

Tabella 1- Classificazione dei paradigmi teorici di natura economica

	Probabilità di accadimento oggettiva (nota)	Probabilità di accadimento soggettiva (non nota)
Valore oggettivo	Teoria del valore atteso (Expected Value EV)	Teoria soggettiva del valore atteso (Subjectively Expected Value, SEV)
Valore soggettivo	CONTESTO DI RISCHIO	CONTESTO DI INCERTEZZA
	Teoria dell’utilità attesa (Expected Utility theory, EUT; anche indicata come von Neumann Morgenstern Theory, VNMT)	<ul style="list-style-type: none"> • Teoria soggettiva dell’utilità attesa (Subjectively Expected Utility theory, SEUT) • Teorie aleatorie alternative (es. Prospect, Regret, etc)

Il modello EV (expected value) è il classico modello di gioco d'azzardo in cui, di solito, i valori sono monetari e le probabilità sono oggettive e note a priori. Nel modello EU (expected utility), i valori

monetari sono sostituiti dal loro valore soggettivo o utilità per l'individuo. Questo modello è il modello decisionale predominante nella letteratura economica, soprattutto a partire dalla celebre formulazione assiomatica di von Neumann e Morgenstern (1947). Mentre i modelli EV e EU presuppongono l'esistenza di probabilità oggettive esogene sugli stati di natura, i modelli SEV e SEU riconoscono il fatto che nella maggior parte delle situazioni reali tali probabilità non sono disponibili. Pertanto, questi modelli ipotizzano, invece, che l'individuo si comporti come se si assegnassero delle probabilità soggettive agli stati di natura. Nel modello SEV (valore atteso soggettivo) i valori sono oggettivi, mentre sono soggettivi nel modello SEU (utilità attesa soggettiva).

Il modello SEV ha ricevuto solo scarsa attenzione da parte dei ricercatori (Ramsey, 1964; Koopman, 1940; Marschak, 1955). L'attenzione maggiore è stata rivolta al modello SEU, più generale. A questo modello è stata data una famosa formulazione assiomatica in Savage (1954) e successivamente è stato elaborato da Fishburn e altri (Fishburn, 1969, 1970). Negli studi empirici sul comportamento di scelta reale, i modelli SEV e SEU hanno in genere superato il modello EU (Edwards, 1961; Tversky, 1967).

2.3 STORIA ED EVOLUZIONE DELLA TEORIA ECONOMICA DELL'UTILITÀ

I modelli consolidati utilizzati nel settore trasporti sono fondati sulla teoria dell'utilità. Per tale motivo, quindi, si dedicherà il successivo paragrafo a chiarire gli assunti della teoria dell'utilità (definendo le principali differenze tra la visione deterministica e quella stocastica) ed alle forme modellistiche in cui essa si esplica. Nel presente paragrafo, invece, ci si concentra in un breve excursus storico relativo agli sviluppi della stessa.

Il concetto di utilità è un argomento piuttosto controverso nella teoria economica. La sua natura altamente astratta, e l'intrinseca impossibilità di misurarla direttamente, hanno portato a disaccordi sul fatto che essa possa essere una grandezza utile di analisi e, in caso affermativo, in che misura possa esserlo.

Ciononostante, un'ampia letteratura ruota attorno all'utilizzo del concetto di utilità per esplorare, giustificare e prevedere il comportamento umano; ci si riferisce a questa branca dell'economia come "teoria dell'utilità".

Nella sua definizione più elementare, l'utilità è una misura del "piacere" o della "soddisfazione" che gli agenti economici traggono dall'utilizzo/consumo di beni o servizi. Spesso questa definizione è collegata agli importi monetari utilizzati dagli agenti per ottenere tali beni o servizi (dato che quasi tutte le contingenze possono essere direttamente tradotte in termini di valore monetario).

In situazioni di rischio e incertezza, la teoria dell'utilità predominante nell'analisi del comportamento umano e delle scelte è la teoria dell'"utilità attesa". Utilizzata per la prima volta da Bernoulli (1738), questa teoria ha visto un uso diffuso dopo gli importanti contributi degli economisti von Neumann e Morgenstern (1947), i cui nomi spesso accompagnano il corrispondente modello di utilità.

Sebbene si basi su un insieme di assiomi apparentemente evidenti, il modello dell'utilità attesa di von Neumann e Morgenstern ha dato vita a una moltitudine di paradossi che contraddicono i suoi presupposti e le sue previsioni.

Di conseguenza, ci sono stati diversi tentativi di presentare teorie alternative dell'utilità in condizioni di rischio, come la Teoria del Prospetto di Kahneman e Tversky (1979) e i modelli del rimpianto (Bell, 1982; Loomes e Sugden, 1982) e della delusione (Bell, 1985; Loomes e Sugden, 1986).

La teoria dell'utilità attesa fu avanzata originariamente da Daniel Bernoulli nel 1738 come soluzione al famoso Paradosso di San Pietroburgo posto nel 1713 da suo cugino Nicholas Bernoulli. Il paradosso di San Pietroburgo è la classica situazione in cui l'applicazione diretta della teoria del valore atteso suggerisce una linea di condotta che nessuna persona ragionevole si sentirebbe di adottare. Il paradosso si risolve raffinando il modello di decisione e prendendo in considerazione il concetto di utilità marginale e il fatto che le risorse dei partecipanti siano limitate (non infinite).

Nel suddetto paradosso, in un ipotetico gioco d'azzardo, derivato dalla scommessa testa o croce sul lancio di una moneta, si paga una quota di ingresso fissa, diciamo A, per partecipare ad una fase del gioco. Ciascuna fase consiste nel lanciare ripetutamente una moneta (non truccata) finché non esce Croce, che dà luogo alla vincita. La vincita dipende dal numero di lanci che precedono l'uscita di Croce: se esce Croce al primo lancio, si vince 1 (uno); se esce Testa, si raddoppia la vincita ad ogni lancio successivo. In breve,

si paga A e si vince $2k-1$, se la moneta è stata lanciata k volte quando compare Croce per la prima volta. Poi si riprende da capo con una nuova fase del gioco. Alla fine dei lanci si è dunque certi di incassare un premio, ma quanto si è disposti a pagare per partecipare al gioco?

La probabilità che la prima Croce esca al lancio k -esimo è:

$$p_k = \Pr(\text{Testa al pri molanci } \varnothing) \cdot \Pr(\text{Testa al secondo lanci } \varnothing) \dots \cdot \Pr(\text{Croce al } k - \text{esi molanci } \varnothing) \quad (2.1)$$

$$p_k = \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} \dots \frac{1}{2} = \frac{1}{2^k}$$

Quindi si ha: probabilità $1/2$ di vincere 1; probabilità $1/4$ di vincere 2; probabilità $1/8$ di vincere 4 ... e così via. Il valore atteso della vincita è dunque:

$$E = \frac{1}{2} \cdot 1 + \frac{1}{4} \cdot 2 + \frac{1}{8} \cdot 4 + \frac{1}{16} \cdot 8 + \dots = \frac{1}{2} + \frac{1}{2} + \frac{1}{2} + \frac{1}{2} = \sum_{k=1}^{\infty} \frac{1}{2} = \infty \quad (2.2)$$

La somma diverge all'infinito: cioè in media ci si aspetta di vincere una somma infinita da questo gioco. Quindi, in accordo con la teoria tradizionale del valore atteso, ci si può permettere di pagare qualunque cifra A per partecipare. Infatti anche pagando un miliardo per volta, alla lunga, dovrà capitare la volta (con probabilità invero bassissima) di una vincita così strepitosa da ripagare abbondantemente tutte le altre quote investite per ottenere vincite insignificanti.

In pratica però, nessuna persona ragionevole è disposta a pagare più di qualche unità per partecipare a questo gioco: ecco appunto il paradosso, detto di San Pietroburgo.

Dal punto di vista matematico, non sorgono difficoltà dalla situazione prospettata nel gioco. In altre parole, è perfettamente coerente accettare la possibilità (infinitesima) di una vincita infinita, tale da bilanciare qualunque somma pagata nelle (infinite) volte in cui la vincita risulta insignificante.

Viceversa, per gli studiosi delle scienze sociali, e di economia in particolare, questo "paradosso" ha costituito un potente stimolo per introdurre la teoria delle aspettative e per introdurre i concetti di utilità marginale e di peso soggettivamente attribuito alle probabilità.

Gli economisti usano questo paradosso per mettere in luce una varietà di argomenti in economia e nella teoria delle decisioni. La soluzione classica del paradosso richiede l'introduzione esplicita del concetto di utilità attesa e di diminuzione dell'utilità marginale del denaro.

L'idea della diminuzione dell'utilità marginale del denaro fu già una intuizione di Bernoulli. Secondo le sue parole: "La determinazione del valore di un oggetto deve essere basata non sul suo prezzo, ma piuttosto sulla utilità che può procurare... Non c'è dubbio che un guadagno di mille ducati ha più valore per un povero che per un ricco, nonostante entrambi guadagnino la stessa quantità".

Da qui la prima introduzione della teoria di utilità attesa da parte di Bernoulli, che trova poi la sua prima formulazione assiomatica nel 1947 con von Neumann e Morgenstern e vede i successivi sviluppi con Savage (1954), che integra la nozione di probabilità soggettiva (SEUT).

La Teoria dell'Utilità Attesa (EUT):

- è di tipo normativo;
- è basata su modelli matematici;
- assume in maniera fondamentale che la razionalità sia alla base del comportamento degli individui.

La Teoria dell'Utilità Attesa (EUT) afferma che il decisore sceglie tra prospettive rischiose confrontando i loro valori di utilità attesa, cioè le somme ponderate ottenute sommando i valori di utilità degli esiti moltiplicati per le rispettive probabilità. In pratica è ragionevole assumere che gli individui scelgano tra varie combinazioni rischiose sulla base dei rispettivi valori di utilità attesa: essi sceglieranno sempre la combinazione alla quale è associata l'utilità attesa più elevata, cioè le alternative che in assoluto offrono i guadagni più elevati o le perdite più basse.

Per quanto detto, la funzione di Utilità Attesa di von Neumann-Morgenstern, si esplicita come:

$$EU = \sum_{i=1}^N p_i \cdot u(w_i) \quad (2.3)$$

in cui per ogni contingenza i ,

- p_i rappresenta la probabilità di accadimento,
- w_i rappresenta i livelli di ricchezza
- $u(w_i)$ è la funzione di utilità della ricchezza di von Neumann-Morgenstern

In altre parole, la funzione di utilità è derivata in modo da garantire che, tra diverse alternative decisionali, quella preferibile risulti sempre con un'utilità attesa maggiore, $E[U]$.

La funzione di utilità può essere, quindi, usata per associare a ciascuna scelta una corrispondente misura di utilità; questa funzione prevede due proprietà:

- la funzione rispetta l'ordine di preferenze;
- l'utilità attesa può essere usata per ordinare alternative rischiose e viene espressa in funzione dei risultati possibili e delle probabilità che tali risultati si manifestino.

Va notato che la funzione di utilità, che trasforma gli attributi in utilità, è una proprietà del decisore. Decisori diversi avranno funzioni di utilità diverse. Nella figura che segue è mostrato un esempio di funzione di utilità per un individuo.

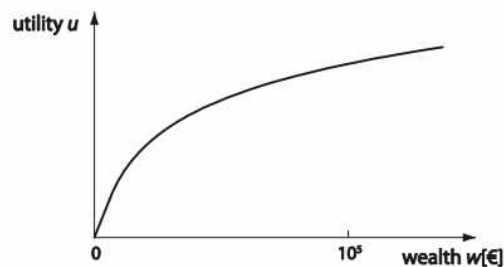


Figura 4- Funzione di utilità per un decisore; trasformazione di valori monetari in valori di utilità.

In questa immagine, notiamo che l'utilità non è lineare con il denaro sull'intero dominio.

L'aumento di utilità associato a un piccolo aumento di ricchezza, cioè $du(w)/dw$, è chiamato utilità marginale (in economia, l'utilità marginale è un'altra cosa). La maggior parte dei decisori ha un'utilità marginale che diminuisce con l'aumentare della ricchezza w .

Questa funzione di utilità è continuamente crescente, il che sembra logico, poiché quasi tutti preferirebbero una maggiore quantità di denaro piuttosto che una minore. Tuttavia, questa non è una condizione necessaria per la teoria; in linea di principio, la funzione di utilità può avere qualsiasi forma arbitraria. Essa è:

- è di tipo concavo quando descrive le preferenze di un individuo avverso al rischio;
- è di tipo convesso quando descrive le preferenze di un individuo propenso al rischio;
- è di forma lineare quando descrive le preferenze di un individuo neutrale al rischio.

Questa funzione è comunemente ipotizzata come globalmente concava, per la maggior parte degli individui, portando ad atteggiamenti avversi al rischio per qualsiasi livello di ricchezza. In sostanza, ciò significa che le persone sarebbero disposte a pagare una maggiorazione in cambio di certezze, il che spiega la richiesta di assicurazioni. Altri soggetti sono considerati propensi a cercare il rischio e preferiscono fare scommesse come investire in progetti ad alto rischio/alta ricompensa e partecipare a lotterie con chance effimere. Un confronto dell'andamento delle funzioni di utilità per due casi è mostrato nella figura che segue.

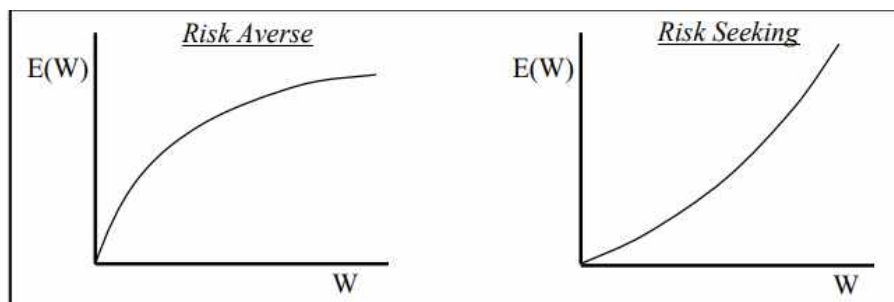


Figura 5- Le funzioni di utilità per utenti avversi e propensi al rischio

La costruzione della funzione di utilità attesa poggia su alcuni assiomi che definiscono la logica sottostante al comportamento decisionale:

1. *Completezza o ordinamento completo delle preferenze*: il decisore è in grado di esprimere un giudizio di preferenza o di indifferenza con riferimento ad una qualsiasi coppia di alternative; in tal modo ogni individuo riesce anche a ordinare le alternative secondo un ordine di preferenze. Tale proprietà risulta importante perché esclude la possibilità di non riuscire a effettuare una classifica sulle preferenze.
2. *Transitività*: la preferenza di un'alternativa A rispetto a B e di un'alternativa B rispetto a C implica la preferenza di A rispetto a C; se questo non accadesse si creerebbe una circolarità e l'individuo non sarebbe in grado di prendere una decisione.
3. *Indipendenza o criterio della cosa certa*, se il soggetto preferisce l'alternativa A rispetto all'alternativa B, in presenza di una terza alternativa C, la preferenza del soggetto (di A su B) non cambierebbe.
4. *Continuità o assioma di Archimede*: presuppone che quando ci sono tre lotterie A, B e C e l'individuo preferisce A a B e B a C, allora ci dovrebbe essere una possibile combinazione di A e C in cui l'individuo è indifferente tra questa combinazione e la lotteria B.

Come riportato da Loomes e Sugden (1983) da quando John von Neumann e Oskar Morgenstern hanno formulato tali assiomi, sono state individuate alcune situazioni in cui si verificano significative e ripetute violazioni di uno o più di essi. Queste situazioni - o "paradossi" - sono da allora un comune oggetto di analisi.

Probabilmente il più noto tra i paradossi è quello di Allais (1953). Questo esperimento ha fornito una forte evidenza contro la validità dell'assioma di indipendenza.

In tale esperimento Allais ha messo in scena un soggetto ideale a cui viene chiesto di fare due scelte in successione, prima tra le lotterie p1 e q1, e poi tra le lotterie p2 e q2. Le varie

lotterie sono caratterizzate da un diverso grado di rischio. In particolare si ha:

- p1 = vincita sicura di 1000 €
- q1 = con probabilità del 10% di vincere 5000 €, con probabilità del 89% di vincere 1000 € e con probabilità del 1% di vincere 0 €
- p2 = con probabilità del 11% di vincere 1000 € e con probabilità del 89% di vincere 0 €
- q2 = con probabilità del 10% di vincere 5000 € e con probabilità del 90% di vincere 0 €

p1		p2	
Vincita: 1000	Prob. di vincita: 100%	Vincita: 1000	Prob. di vincita: 11%
		Vincita: 0	Prob. di vincita: 89%
q1		q2	
Vincita: 5000	Prob. di vincita: 10%	Vincita: 5000	Prob. di vincita: 10%
Vincita: 1000	Prob. di vincita: 89%	Vincita: 0	Prob. di vincita: 90%
Vincita: 0	Prob. di vincita: 1%		

Assumendo che l'utilità associata ad una vincita nulla sia pari a zero: $u(0) = 0$, è facile verificare che nell'ipotesi che le scelte del soggetto siano conformi alla teoria di von Neumann-Morgenstern (VNM), l'agente che sceglie p1 rispetto a q1 dovrebbe anche scegliere p2 rispetto a q2.

Infatti, è facilmente verificabile che le due seguenti disuguaglianze sono equivalenti:

- 1) $p_1 > q_1$
 $1 u(1000) > 0,10 u(5000) + 0,89 u(1000) + 0,01 u(0)$
 $1 u(1000) - 0,89 u(1000) > 0,10 u(5000) + 0$
 $0,11 u(1000) > 0,10 u(5000)$

- 2) $p_2 > q_2$
 $0,11 u(1000) + 0,89 u(0) > 0,10 u(5000) + 0,90 u(0)$
 $0,11 u(1000) + 0 > 0,10 u(5000) + 0$
 $0,11 u(1000) > 0,10 u(5000)$

Il paradosso risiede nel fatto che la maggioranza dei soggetti ai quali è stato chiesto di scegliere tra le lotterie hanno risposto che preferiscono p_1 rispetto a q_1 ma preferiscono q_2 rispetto a p_2 .

Valutando il comportamento degli individui, possiamo dire che, nella prima scelta da effettuare, preferiscono l'alternativa p_1 caratterizzata dalla certezza di vincere rispetto all'alternativa q_1 caratterizzata da una situazione di rischio, nonostante q_1 abbia un'utilità attesa maggiore rispetto a p_1 .

Nella seconda scelta da compiere in entrambe le alternative c'è la presenza del rischio ma gli intervistati preferiscono l'alternativa q_2 perché anche se con probabilità più bassa rispetto a p_1 avrebbero un guadagno nettamente superiore; dunque in questo caso danno più valore al premio e non alla probabilità.

L'esperimento ha portato alla luce il "cosiddetto effetto certezza", secondo il quale "i risultati ottenuti con certezza hanno un peso sproporzionatamente più grandi di quelli incerti" (Schoemaker, 1982).

In pratica si evince che i soggetti preferiscono il guadagno del momento e non l'utilità che può generare in termini di benessere, quindi molto spesso quando le persone prendono delle decisioni non seguono la regola del massimo benessere, e si rileva la discordanza tra la teoria e la realtà nel processo decisionale. L'anomalia di comportamento da parte degli individui è conosciuta come "Paradosso di Allais", che mette in discussione l'assioma di indipendenza; una possibile soluzione per unificare la teoria al comportamento degli individui è quello di indebolire l'assioma stesso.

Un secondo paradosso noto è il paradosso di Ellsberg (1961), che mette in luce gli effetti della certezza e dell'incertezza nel processo decisionale individuale. Il paradosso di Ellsberg del 1961, analizza il comportamento dei soggetti chiamati a prendere delle decisioni con probabilità incerte, in contesti ambigui. La differenza sostanziale tra il paradosso di Allais e il paradosso di Ellsberg è il contesto in cui si analizzano i comportamenti, Allais nel suo esperimento considera una situazione caratterizzata dalla presenza di rischio nelle alternative, invece Ellsberg analizza una situazione caratterizzata dalla presenza di ambiguità (definita come una scelta tra più alternative alle quali non è possibile attribuire una valutazione probabilistica oggettiva).

Ellsberg utilizzò l'esempio descritto di seguito per dimostrare che in contesti con ambiguità l'individuo modifica il suo comportamento.

Il suo esperimento consisteva in un'urna A riempita con una proporzione 50-50 di palline rosse e nere, e una seconda urna B riempita con palline rosse e nere, in una proporzione non rivelata ai soggetti del test. Secondo la teoria dell'Utilità Attesa, un individuo dovrebbe valutare soggettivamente le probabilità di trovare palline rosse o nere nell'urna "incerta" B. Offrendo un premio in denaro per la scelta di una pallina rossa da un'urna selezionata, una grande maggioranza di soggetti ha preferito le probabilità conosciute del 50-50 dell'urna A.

Quando poi è stato offerto loro un premio simile per la scelta di una pallina nera da un'urna selezionata, hanno continuato a scegliere l'urna A.

Analizzando il risultato dell'esperimento si può affermare che le scelte ricadono sull'alternativa basata su informazioni precise che determinano la possibilità di vincita o perdita, quindi è preferita la scelta collegata da una serie di informazioni affidabili piuttosto che l'assenza o la non sufficienza di informazioni per effettuare una scelta sicura. L'assenza di informazioni determina ambiguità nel valutare le probabilità degli esiti; questo porta ad una non conoscenza di un preciso valore atteso e di conseguenza non si è in grado di massimizzare il valore atteso.

Questa evidenza suggerisce che le scelte degli individui siano influenzate da un qualche tipo di avversione psicologica all'incertezza, non modellata dall'Utilità Attesa.

Le risposte al paradosso esposto da Maurice Allais (1953), e rafforzato dall'evidenza sperimentale, sono state di vario tipo. Il primo approccio, portato avanti da Jacob Marschak (1951) e Leonard J. Savage (1954: p. 28-30, 101-3), è che la teoria dell'utilità attesa è intesa come una teoria normativa, cioè che cosa dovrebbero fare le persone razionali in condizioni di incertezza, piuttosto che cosa fanno effettivamente. Questa potrebbe sembrare una difesa debole, ma come sostengono Marschak e Savage, le situazioni proposte negli esperimenti tendono a essere piuttosto complicate e poco familiari, in modo che i soggetti compiano scelte in uno scenario artificioso e scomodo che in realtà non capiscono. Essi sostengono che se i conduttori dell'esperimento avessero fatto notare ai soggetti le contraddizioni, nessuno di loro avrebbe mantenuto le proprie scelte contraddittorie e avrebbe corretto le proprie risposte secondo l'ipotesi dell'utilità attesa.

Motivata dalla teoria dell'utilità di VNM, ed ispirata da Ramsey (1931), una formulazione più generale dell'EUT è venuta dalla teoria dell'utilità attesa soggettiva (SEUT) di Savage (1954, 1972), che si basa su un assioma chiamato "principio della certezza". Leonard Savage dimostrò che le preferenze di chi sceglie non devono dipendere da alcuna conseguenza "particolare". Sebbene si tratti essenzialmente di una versione rivista dell'assioma di indipendenza della EUT, il suo significato è che l'intero modello EUT può essere esteso dal rischio all'incertezza.

Nel modello SEU, l'incertezza sul futuro è rappresentata da un insieme di *stati di natura*, che sono eventi reciprocamente esclusivi ed esaustivi. I possibili esiti per il decisore sono rappresentati da una serie di *conseguenze*, che possono essere somme di denaro in banca o "stati della persona" più generali, come salute, felicità, esperienze piacevoli o spiacevoli, e così via. Un'alternativa decisionale, nota come *atto*, è definita da un'assegnazione di conseguenze a stati di natura.

Nel caso in cui l'insieme degli stati sia un insieme finito (E_1, \dots, E_n), un atto può essere scritto come un vettore $x = (x_1, \dots, x_n)$, dove x_i è la conseguenza ricevuta o sperimentata nello stato E_i . Le credenze del decisore riguardo agli stati di natura sono rappresentate da una *distribuzione di probabilità soggettiva* $p = (p_1, \dots, p_n)$, dove p_i è la probabilità di E_i , e i suoi valori per le conseguenze sono rappresentati da una *funzione di utilità* $v(x)$, in base alla quale il valore che essa assegna a un atto x ai fini decisionali è il valore soggettivo di utilità attesa:

$$SEU(x) = E_p[v(x)] = \sum_{i=1}^n p_i \cdot v(x_i) \quad (2.4)$$

Analogamente a quanto accaduto per la EUT, anche il consenso per la SEUT ha cominciato a venir meno alla fine degli anni '70, quando un corpo emergente di ricerche sulle decisioni comportamentali ha mostrato che i soggetti, negli esperimenti di laboratorio, mostrano una serie di comportamenti prevedibili che sono incoerenti con la teoria della SEU, anche al di là del comportamento paradossale identificato da Allais ed Ellsberg.

Lo studio dei processi decisionali ha tradizionalmente incontrato molto interesse in letteratura, generando analisi da un punto di vista normativo, descrittivo e prescrittivo.

Generalmente gli economisti studiano il processo decisionale sotto le forti assunzioni assiomatizzate dalla teoria dell'utilità attesa di von Neumann e Morgenstern (von Neumann e Morgenstern 1944, anche VNM). Una volta soddisfatte queste ipotesi, le preferenze delle persone possono essere rappresentate da valori quantitativi e misurabili delle funzioni di utilità, che indicano razionalmente quali decisioni prendere.

Tuttavia, questi assunti forti, come la razionalità (assoluta) e gli interessi personali, sembrano troppo ideali per descrivere la realtà del processo decisionale quotidiano delle persone.

Negli ultimi anni, molti economisti, mettendo in discussione la teoria dell'utilità attesa, hanno cercato e tutt'ora cercano una teoria che la sostituisca.

Le teorie alternative possono essere suddivise in due gruppi, anche se il punto centrale del disaccordo con la teoria sull'utilità attesa è l'assioma di indipendenza:

- teorie basate sulla probabilità oggettiva;
- teorie basate sulla probabilità soggettive.

Nel primo gruppo si possono includere la teoria del prospetto di Kahneman-Tversky (Kahneman e Tversky 1979, di seguito PT), e la teoria del rimpianto (RT). Dato l'interesse riscontrato anche nel settore trasporti per queste teorie, un breve cenno verrà dedicato alle stesse nel paragrafo 2.6.

Prendendo in considerazione solo il secondo gruppo, le proposte teoriche più interessanti sono costituite dalla teoria di “Choquet expected utility” creata da Schmeidler (1989), la “Maxmin expected utility” di Gilboa e Schmeidler (1989), e “ α – Maxmin” di Girardato, Maccheroni e Marinacci (2004).

2.4 TEORIE ECONOMICHE E MODELLI DI SCELTA

Da quando è stata proposta per la prima volta nel 1947, la teoria dell'utilità di von Neumann-Morgenstern ha riscosso molta attenzione in quanto metodo di analisi delle decisioni. Keeney e Raiffa (1976) hanno scritto un libro di testo completo sull'argomento e Farquhar (1977 a) ha riassunto ricerche e applicazioni. Particolare attenzione è stata rivolta a tale teoria anche per comprendere se essa potesse essere utilizzata per modellare le scelte di mercato degli utenti.

Modellare e misurare il modo in cui i consumatori formano la preferenza per i prodotti o i servizi è fondamentale per la comprensione del comportamento dei consumatori. Poiché il marketing è un campo applicativo, i ricercatori di marketing tendono ad essere più interessati ai problemi metodologici e di implementazione legati all'applicazione delle teorie delle discipline di base che alle spiegazioni formali di queste teorie. Sono state condotte numerose ricerche al compito di determinare come i consumatori combinino le percezioni degli attributi del prodotto per formare delle preferenze.

A tal proposito (Hauser et Urban., 1979) hanno esaminato una serie di concetti chiave della teoria dell'utilità attesa di VNM (relativi al rischio, alla misura, alla forma funzionale e alla stima dei parametri) con particolare attenzione alle questioni rilevanti per la modellazione delle scelte dei consumatori. Da suddetta analisi emergeva come, la teoria dell'utilità attesa presentasse una serie di vantaggi che la rendevano particolarmente interessante per la ricerca sui consumatori. Tra questi: (1) l'incorporazione esplicita della preferenza per il rischio, (2) il compito di indifferenza per la misurazione del consumatore, (3) l'identificazione di forme funzionali appropriate e (4) la derivazione assiomatica da ipotesi comportamentali testabili (indipendenza dell'utilità e delle preferenze). Tuttavia, veniva altresì riconosciuto che prima che la teoria dell'utilità attesa potesse essere applicata empiricamente al comportamento dei consumatori, fosse necessario affrontare una serie di questioni importanti. Tra queste: (1) la validità descrittiva e predittiva nella scelta del consumatore, (2) la fattibilità del compito del consumatore utilizzato per la misurazione, (3) l'uso di misure percettive a scala psicologica come attributi, e (4) come effettuare compromessi di ricerca tra complessità, verifica delle ipotesi e stima dei parametri che sono necessari per limitare il compito di misurazione.

Tale disamina si era resa necessaria anche perché negli anni diverse erano risultate le ricerche condotte per determinare come i consumatori combinassero le percezioni degli attributi dei prodotti per formare le proprie preferenze.

Ad esempio, i primi lavori erano stati diretti all'applicazione dei concetti psicologici sviluppati da Fishbein (1967). In molte di queste applicazioni, per prevedere una misura di preferenza, venivano utilizzati una funzione lineare additiva dei "pesi d'importanza" degli attributi del prodotto e una classificazione degli attributi del prodotto (si veda la rassegna di Wilkie e Pessemier 1973). Carroll (1972) aveva utilizzato una regressione per adattare una funzione di utilità alle preferenze dichiarate, specificando la posizione di un "punto ideale" basato sull'assunzione della forma della funzione di utilità. I lavori di conjoint analysis avevano utilizzato l'analisi monotona della varianza per stimare i "valori parziali" sulla base delle preferenze dichiarate rispetto a vari attributi del prodotto prestabiliti (Tversky 1967; Green e Wind 1973; Green e Srinivasan 1978).

In econometria, invece, era già stata utilizzata la modellazione stocastica delle scelte osservate con la forma logit per stimare l'importanza degli attributi (McFadden 1970; 1975; 1978).

A tal proposito, risulta piuttosto interessante il lavoro di Corstjens e Gautschi (1983), che esamina diverse categorie di modelli di scelta esaminati nel marketing e che si fondano su 4 “famiglie” di teorie diverse. Tra queste, vengono prese in considerazione anche la teoria dell'utilità attesa di VNM, che è quella che ha visto il maggiore sviluppo in ambito economico, e la teoria dell'utilità aleatoria, su cui sono stati poi fondati i principali modelli di scelta econometrici, adottati anche nel settore trasporti. Di fatti, il lavoro in

esame, è utile per chiarire le principali differenze tra i due filoni teorici, nonché le differenze che ne derivano in termini modellistici.

Nel processo di costruzione di un modello si possono distinguere tre fasi principali: generazione della teoria, la parametrizzazione e la stima (Nicosia e Rosenberg 1972). Nel contesto della modellazione della scelta, la generazione della teoria può essere definita come l'identificazione generale della funzione di preferenza e la traduzione di questa struttura di preferenza in un modello di scelta. La fase finale, la stima, si riferisce all'implementazione empirica delle forme funzionali parametrizzate che caratterizzano la preferenza e la struttura della scelta.

Secondo Corstjens e Gautschi (1983), alla base della maggior parte dei modelli di scelta utilizzati nel marketing, si possono identificare quattro teorie distinte:

- Teoria I: la teoria economica neoclassica estesa da Lancaster (1966,1971).
- Teoria II: teoria della preferenza al rischio delle scelte in condizioni di incertezza (ad esempio, von Neumann-Morgenstern, 1947, Savage, 1954).
- Teoria III: Modello di utilità rigorosa (ad esempio, Luce 1959).
- Teoria IV: Modello di utilità aleatoria (ad esempio, Thurstone 1927).

Questo schema di classificazione viene riconosciuto dagli stessi autori come arbitrario, così come viene riconosciuto che queste quattro categorie teoriche non si escludano a vicenda. Tuttavia, vengono identificati questi quattro approcci teorici alla modellazione delle scelte poiché ognuno di essi affronta in modo esaustivo quattro questioni ritenute fondamentali per modellare le scelte degli utenti, ovvero la natura delle preferenze, la natura delle alternative di scelta, la regola di scelta e la natura della scelta risultante.

Prima di esaminare le quattro questioni ritenute fondamentali, si presenta un breve richiamo di questi 4 filoni. Nei paragrafi che seguono maggiori dettagli verranno forniti sui modelli di utilità deterministici e aleatori.

La riformulazione di Lancaster della teoria del consumatore ha rappresentato un'importante innovazione in economia e risulta interessante per gli studiosi di marketing per almeno due motivi. In primo luogo, la teoria economica convenzionale richiede una completa parametrizzazione e ridefinizione della funzione di utilità ogni volta che un nuovo prodotto viene introdotto in un mercato. Esprimendo la funzione di utilità come combinazioni di caratteristiche dei prodotti, l'approccio di Lancaster può facilmente accogliere il nuovo prodotto senza richiedere una ridefinizione della funzione di utilità. Inoltre, rispetto alla teoria economica convenzionale, l'approccio delle caratteristiche permette un'interpretazione più significativa dei modelli di complementarità di sostituzione tra i diversi beni.

Nell'ambito della classe di modelli di preferenza per il rischio, viene considerata come teoria rappresentativa la teoria dell'utilità attesa di VNM, il cui contributo principale è l'incorporazione rigorosa del rischio nella funzione di preferenza.

La teoria Luce dell'utilità rigorosa è meglio vista nel contesto dello sviluppo di una classe di modelli di scelta probabilistici denominati modelli di utilità. Gli psicologi matematici hanno sviluppato il modello di utilità costante (deterministico) per spiegare la scelta come probabilistica, in condizioni di scelte intransitive. Vengono distinti modelli di utilità costante forti e deboli; Un modello di utilità costante debole modula una funzione di utilità ordinale e postula che in una scelta binaria (che coinvolge le alternative x e y , per esempio), il decisore sceglie y rispetto a x se e solo se l'utilità del risultato supera quella di x . Il modello di utilità costante forte asserisce che la scelta stabilisce la probabilità che il decisore scelga x in funzione non decrescente della quantità di cui l'utilità di y supera quella del risultato. Per questo motivo, il modello di utilità costante forte richiede funzioni di utilità a scala di intervallo. Luce ha esteso i modelli di utilità binari al contesto delle scelte alternative multiple. Il modello di Luce postula che la probabilità di scelta dell'alternativa x è data dal rapporto tra l'utilità del suo risultato e la somma delle utilità di tutte le alternative presenti nell'insieme di scelta disponibile. Questo assioma implica l'esistenza di un'utilità a scala di rapporto.

Il modello di scelta di Thurstone (Caso V di Thurstone) è nato da una ricerca in psicofisica che riguardava lo sviluppo di scale per il giudizio comparativo. Osservando che anche in situazioni di scelta identiche i decisori non fanno sempre le stesse scelte, Thurstone ha postulato una funzione di scala casuale a livello individuale. I modelli di scelta basati sul Caso V di Thurstone sono chiamati modelli di utilità aleatoria (RUM) e godono di una ricca storia in psicologia matematica e in economia (Quandt (1956); Marschak (1960); Block e Marschak (1960); Marschak, DeGroot e Becker (1963); Luce e Suppes (1965); McFadden

(1973)). La caratteristica distintiva di questa prospettiva teorica è l'attribuzione di una potenziale natura stocastica all'utilità individuale. Con alcune parametrizzazioni della componente stocastica dell'utilità si può ottenere una forma per la stima che è coerente con la regola di scelta del modello di utilità rigoroso di Luce. Poiché questa equivalenza si ottiene solo imponendo specifiche condizioni parametriche e poiché le teorie sottostanti sono diverse, le teorie di Thurstone e Luce sono state trattate separatamente nello studio di Corstjens e Gautschi (1983).

Si passa quindi all'analisi dei 4 aspetti su cui si basa la principale distinzione tra i modelli di scelta.

Natura delle preferenze

Mentre le prime tre teorie (Lancaster, von Neumann-Morgenstern e Luce) postulano strutture di preferenze deterministiche, il modello Thurstone si basa su preferenze stocastiche. Secondo Luce, si presume che l'individuo assegni sempre la stessa utilità alla stessa alternativa di scelta. Secondo il modello di Thurstone, l'individuo estrae a caso un elemento di un insieme di funzioni di utilità per ogni occasione di scelta. I livelli di utilità per le diverse alternative sono distribuiti intorno a livelli medi di utilità che dipendono dagli attributi delle alternative.

Alternative di scelta

È importante fare una distinzione tra la natura delle preferenze e la natura delle alternative di scelta su cui le preferenze sono definite. Sebbene si tratti di dimensioni diverse nel processo di scelta, esse non sono completamente indipendenti.

Nel caso di alternative di scelta deterministiche, il decisore è certo dei valori delle caratteristiche per ciascuna delle alternative di scelta e non è necessario apportare modifiche alla funzione di preferenza. La rappresentazione deterministica delle alternative di scelta è più comunemente applicata nel marketing. Tuttavia, quando il decisore è incerto sui valori delle caratteristiche delle alternative di scelta, può essere opportuno trattare le alternative di scelta come probabilistiche. Si presume, cioè, che il decisore assegni delle probabilità ai diversi valori possibili delle caratteristiche che descrivono le alternative di scelta. Tali alternative di scelta probabilistiche richiedono l'incorporazione di un parametro che tenga conto dell'atteggiamento del decisore nei confronti del rischio (ad esempio, l'avversione al rischio). La teoria di von Neumann-Morgenstern (e la sua estensione da parte di Fishburn (1972), Keeney (1972), Pollak (1967), Hauser (1978a) e altri) tratta esplicitamente la natura probabilistica delle alternative di scelta. La differenza fondamentale tra la teoria del prospetto (PT) e la teoria dell'utilità attesa (EUT) è che nell'EUT vengono attribuiti valori alle attività finali, ponderati con le probabilità, mentre la PT assegna valori separati ai guadagni e alle perdite e sostituisce le probabilità dell'EUT con pesi decisionali. Marschak et al. (1963) hanno dimostrato, solo a livello teorico, che anche i modelli Thurstone e Luce possono essere estesi per includere alternative di scelta probabilistiche.

Un'ultima considerazione sulla natura delle alternative di scelta è il contributo unico di Lancaster, che fornisce un meccanismo esplicito per mappare le alternative dallo spazio dei beni allo spazio delle caratteristiche.

Regole di scelta

Per colmare il divario tra la struttura delle preferenze e il comportamento di scelta, è necessario formulare una regola decisionale espressa in termini di preferenze. La regola decisionale più comunemente utilizzata è la massimizzazione dell'utilità su tutte le alternative di scelta. La massimizzazione dell'utilità attesa nella teoria di von Neumann-Morgenstern deriva direttamente dalla soddisfazione di alcune condizioni comportamentali (assiomatiche).

Gli psicologi hanno sviluppato una serie di alternative a questo comportamento di massimizzazione dell'utilità, ampiamente applicate dagli studiosi dell'elaborazione delle informazioni nel marketing (per esempio, Lutz e Bettman (1977); Wildt (1975); Wright (1972) e altri).

Un'altra notevole eccezione alla massimizzazione dell'utilità che è stata incorporata in un modello di scelta formale è stata rappresentata da Luce; La regola decisionale proposta implica che se un insieme di probabilità di scelta è conforme all'assioma di scelta di Luce, allora i valori possono essere assegnati a ciascuna delle alternative in modo tale che questi numeri riflettano le probabilità di scelta e siano unici, tranne che per la moltiplicazione per una costante positiva.

Una proprietà importante del modello Luce è la scalabilità semplice. Tversky (1972) ha dimostrato che la scalabilità semplice è equivalente a un'altra condizione, più facile da valutare, chiamata indipendenza dall'ordine. Dire che un modello di scelta probabilistico è indipendente dall'ordine significa che è vero quanto segue: la probabilità di scegliere un'alternativa rispetto a una seconda alternativa è maggiore della metà se, e solo se, la probabilità di scegliere la prima alternativa rispetto a una terza alternativa è maggiore della probabilità di scegliere la seconda alternativa rispetto alla terza alternativa.

Questa proprietà assomiglia alla proprietà di transitività ed è intuitivamente interessante su questa base. Tuttavia, violazioni non intuitive di questa proprietà sono state illustrate nell'applicazione della proprietà derivata nota come, "indipendenza da alternative irrilevanti" (IIA); Il modello di Luce, infatti, vincola il rapporto di probabilità di un insieme di scelta a 1. In questo modo, aggiungendo una terza alternativa completamente uguale ad una delle due alternative equiprobabili già previste nell'insieme di scelta, si determina che ogni alternativa venga scelta con una probabilità di 0,33.

Natura della scelta risultante

Le quattro teorie di base implicano i seguenti comportamenti di scelta.

- Teoria I: alternative di scelta deterministiche e struttura di preferenza deterministica (Lancaster).
- Teoria II: alternative di scelta probabilistiche e struttura di preferenza deterministica (EUT).
- Teoria III: alternative di scelta deterministiche o eventualmente probabilistiche (Marschak et al. 1963), preferenze deterministiche (teoria di Luce).
- Teoria IV: alternative di scelta deterministiche o eventualmente probabilistiche (Marschak et al. 1963) e preferenze parzialmente stocastiche (teoria di Thurstone).

Da queste quattro teorie discendono due importanti caratteristiche distintive della scelta risultante:

- (1) la distinzione tra scelta continua e discreta
- (2) la distinzione tra scelta probabilistica e deterministica.

Vale la pena notare che una teoria può avere una condizione probabilistica elementare e tuttavia dare luogo a scelte deterministiche come, ad esempio, la teoria di von Neumann-Morgenstern. Viceversa, una teoria può essere costruita su una condizione deterministica elementare e tuttavia risultare in scelte probabilistiche, come, ad esempio, la teoria di Luce.

Le teorie I e II sono definite teorie della scelta continua, mentre le teorie III e IV sono teorie discrete. La distinzione deriva principalmente dal tipo di sostituzione tra le alternative consentita da una determinata teoria. I modelli di scelta di tipo continuo permettono di ricavare un insieme ottimale di caratteristiche che corrisponde a un'allocatione del budget sulle alternative dell'insieme di scelta. Questa corrispondenza non è sempre unica, in quanto uno specifico insieme di caratteristiche ottimali potrebbe avere diverse immagini fattibili nello spazio delle alternative di scelta. La domanda di ricerca affrontata dai modelli di scelta continua può essere enunciata come segue: *"In che modo il consumatore allocherà la sua spesa su un insieme di alternative di scelta, dato che (1) valuta queste alternative in termini di caratteristiche e (2) dato il suo vincolo di bilancio?"*.

I modelli di scelta continua vengono quindi utilizzati per prevedere la decisione di allocazione delle quantità. Nel caso dei modelli di scelta continua, il termine "margine intensivo" viene talvolta utilizzato per indicare il margine lungo il quale il consumatore sostituisce quantità misurabili di beni o caratteristiche.

La domanda di ricerca affrontata dalle teorie della scelta discreta può essere formulata come segue: *"Dato un insieme di alternative di scelta, quale alternativa (e solo una) sceglierà il consumatore, dato che valuta, dato che valuta queste alternative in termini di caratteristiche?"*.

I modelli di scelta discreta vengono quindi utilizzati per prevedere le probabilità di scelta o, in aggregato, le quote di mercato. Nel caso della scelta discreta, il termine "margine estensivo" è spesso usato per riferirsi al margine lungo il quale il consumatore effettuerebbe aggiustamenti rispetto alla selezione o alla non selezione di un'alternativa.

Nel settore trasporti i modelli di scelta discreta rispondono meglio alle esigenze a cui dare una risposta, e pertanto la modellazione delle scelte è da sempre avvenuta facendo alla formulazione proposta inizialmente da McFadden, e fondata sulla teoria dell'utilità aleatoria.

2.5 MODELLI DI SCELTA DISCRETA A RAZIONALITÀ COMPLETA: LA TEORIA DELL'UTILITÀ

2.5.1 LA TEORIA DELL'UTILITÀ: FORMALIZZAZIONE MATEMATICA

La teoria delle scelte è una disciplina che attinge al bacino delle competenze proprie dell'econometria, della statistica e della psicologia matematica al fine di fornire degli strumenti analitici per la simulazione del comportamento umano qualora si presenti il problema di selezionare un'alternativa all'interno di un insieme di scelta. Uno dei paradigmi più diffusi e consolidati nell'ambito della teoria delle scelte è rappresentato dalla cosiddetta massimizzazione del beneficio, secondo la quale la realizzazione di una specifica scelta da parte di un decisore è il risultato di un processo che, a partire dall'analisi dell'insieme di tutte le alternative disponibili, ha assegnato al decisore il massimo beneficio rispetto a qualsiasi altra scelta all'interno dell'insieme considerato (Marzano, 2005).

In accordo a quanto proposto dalla 'teoria del consumatore', una scelta che obbedisca al paradigma della massimizzazione del beneficio è coerente con tre assiomi costitutivi, di cui i primi due sono generali e possono essere così enunciati:

- *completezza*: il decisore è in grado di esprimere un giudizio di preferenza o di indifferenza con riferimento ad una qualsiasi coppia di alternative;
- *transitività*: la preferenza di un'alternativa i rispetto a j e di un'alternativa j rispetto a k implica la preferenza di i rispetto a k .

Il terzo assioma può essere formulato in due modi diversi e mutuamente escludentesi, ovvero:

- *continuità*: il giudizio di preferenza non è modificato da variazioni infinitesimali negli attributi delle alternative, oppure
- *finitzza*: l'insieme di scelta è finito.

Nell'ambito dei modelli di scelta discreta, i modelli utilizzati per simulare i comportamenti di scelta degli utenti risultano i modelli di utilità aleatoria basati, come intuibile dal nome, sulla teoria dell'utilità aleatoria (Random Utility Theory. R.U.T.). Lo sviluppo della teoria dell'utilità aleatoria è essenzialmente legato ai limiti che un approccio deterministico comporterebbe per lo studio della problematica di interesse.

Poiché la teoria dell'utilità aleatoria si sviluppa per far fronte alle limitazioni introdotte da un comportamento deterministico, si riportano le ipotesi di base di entrambi gli approcci.

Secondo un approccio deterministico, le ipotesi di base che costituiscono il paradigma interpretativo sono le seguenti:

- a) Il generico utente i è un utente razionale che, nell'effettuare la scelta di spostamento considera le alternative disponibili, j , che costituiscono il suo insieme di scelta, I .
- b) Il decisore i associa a ciascuna alternativa j un'utilità percepita U_j .
- c) L'utilità associata a ciascuna alternativa di scelta può essere espressa come combinazione lineare di specifici attributi, mediante opportuni coefficienti di omogeneizzazione, detti coefficienti di reciproca sostituzione: $U_j = U(\beta, \bar{X})$.
- d) L'utente è un massimizzatore di utilità, ovvero sceglie l'alternativa con la massima utilità.

Dalle ipotesi scaturisce il modello della teoria dell'utilità deterministica, secondo cui il comportamento dell'utente viene simulato tramite una funzione di scelta $\psi(j)$. Tale funzione è una funzione a scalino che può assumere i seguenti valori:

$$\forall j, k, \in I \quad \psi(j) = \begin{cases} 1 & \text{se } u_j > u_k \\ 0 & \text{se } u_j < u_k \end{cases} \quad (2.5)$$

Ciò premesso è possibile analizzare i principali limiti risidenti nelle ipotesi su cui si fonda la teoria dell'utilità deterministica. Tali limiti, riguardano sia l'utente (che effettua le scelte) che l'analista (che deve simulare le scelte dell'utente stesso).

Le principali limitazioni che un modello di utilità deterministica introduce con riferimento al comportamento degli utenti risultano le seguenti:

- In genere non si considera il singolo utente, ma piuttosto una classe, i , omogenea di utenti (esempi di classi omogenee risultano gli studenti universitari, i liberi professionisti ecc.). Per quanto gli utenti possano dividersi in classi omogenee ci saranno sempre delle disomogeneità tra di loro di cui non si tiene conto.
- L'utente non necessariamente conosce tutte le alternative disponibili e dunque non necessariamente associa ad ognuna di esse un'utilità percepita
- Se anche l'utente associasse a tutte le scelte un'utilità percepita, non è detto che esso sia un massimizzatore di utilità.

Con riferimento al comportamento dell'analista, invece, si possono evidenziare le seguenti limitazioni introdotte dal modello:

- L'analista può solo ipotizzare, seguendo dei criteri ragionevoli, le alternative disponibili per l'utente, ma non è detto che le conosca tutte.
- L'utilità percepita associata ad ogni alternativa è dipendente da specifici attributi. Nel modello di utilità deterministica si assume che l'analista conosca questi attributi con certezza e che sia in grado di dare loro il giusto valore, ma questo è praticamente impossibile, specialmente quando la scelta dell'utente è influenzata da attributi non misurabili come, ad esempio, la paura di guidare o la paura di stare in ambienti troppo affollati.

Per tutti questi motivi, la teoria dell'utilità deterministica non consente una realistica simulazione dei comportamenti di scelta, il che giustifica il diffuso utilizzo della teoria dell'utilità aleatoria, sulla cui trattazione si fonda parte dell'analisi effettuata nel presente lavoro.

La teoria dell'utilità aleatoria si basa sulle seguenti ipotesi:

- a) Esiste un insieme di scelta relativo ad una classe di utenti i , I^i . Tale insieme deve essere definito preventivamente dall'analista.
- b) Ciascun decisore associa a ciascuna alternativa j del suo insieme di scelta un'utilità (che è ancora dipendente da una serie di attributi); tuttavia l'analista non può associare a ciascuna alternativa l'utilità esatta, ma soltanto una stima di essa. L'utilità percepita proposta dall'analista per ciascuna alternativa, U_j^i , risulta quindi affetta da un grado di incertezza di cui si tiene conto considerando che l'analista sia in grado di stimare mediamente l'utilità che una classe di utenti i percepisce. L'utilità percepita viene quindi rappresentata da una variabile aleatoria che può essere espressa come la somma di due componenti:

$$U_j^i = E[U_j^i] + \varepsilon_j^i = V_j^i + \varepsilon_j^i \quad \forall j \in I^i \quad (2.6)$$

con

- V_j^i = utilità sistematica; rappresenta la media o il valore atteso dell'utilità percepita tra tutti gli utenti con lo stesso contesto di scelta (alternative e relativi attributi). È una grandezza costante
- ε_j^i = residuo aleatorio; rappresenta lo scostamento dell'utilità percepita dall'utente i dal valore V_j^i e misura il grado di incertezza introdotto dai limiti precedentemente esposti. È una grandezza distribuita secondo una variabile aleatoria caratterizzata da media nulla e varianza σ^2 , $\varepsilon_j^i \sim [0, \sigma^2]$.

Dunque, posto:

$$V_j^i = E[U_j^i] \quad \sigma_{i,j}^2 = Var[U_j^i] \quad (2.7)$$

si ha:

$$E[V_j^i] = V_j^i \quad Var[V_j^i] = 0 \quad (2.8)$$

$$E[\varepsilon_j^i] = 0 \quad Var[\varepsilon_j^i] = \sigma_{i,j}^2 \quad (2.9)$$

- c) Poiché l'utilità così definita presenta una dispersione rispetto ad un comportamento deterministico, l'analista non è in grado di stimare l'alternativa scelta, ma piuttosto può stimare la probabilità che l'utente i scelga l'alternativa j, condizionata al suo insieme di scelta I^i , supponendo che l'utente sia comunque un massimizzatore di utilità:

$$p_j^i = Pr[U_j^i > U_k^i] \quad \forall k \neq j; j, k \in I^i \quad (2.10)$$

Con

- p_j^i = probabilità che l'utente i scelga l'alternativa j
- $Pr[U_j^i > U_k^i]$ = probabilità che l'utilità associata all'alternativa j sia superiore all'utilità associata all'alternativa k.

Sfruttando l'espressione 2.6, la relazione 2.10 si esplicita anche come:

$$\begin{aligned} p_j^i &= Pr[V_j^i + \varepsilon_j^i > V_k^i + \varepsilon_k^i] = Pr[\varepsilon_j^i - \varepsilon_k^i > V_k^i - V_j^i] \\ &= Pr[\Delta\varepsilon_{jk} > \Delta V_{jk}] \quad \forall k \neq j; j, k \in I^i \end{aligned} \quad (2.11)$$

Da cui si evince come la probabilità di scelta di un'alternativa j sia dipendente dalla differenza tra le utilità sistematiche delle alternative coinvolte, ovvero dalle utilità sistematiche relative $V_j - V_k$.

Si noti che, se non strettamente necessario, da questo momento in poi, per semplicità di trattazione verrà sottinteso l'indice i relativo al generico decisore.

2.5.2 MODELLI DI UTILITÀ ALEATORIA CONSOLIDATI: IPOTESI E CLASSIFICAZIONE

È possibile ottenere diverse forme funzionali dei modelli dell'utilità aleatoria assumendo diverse funzioni di distribuzione di probabilità congiunte per i residui ε . Nel seguito di questo paragrafo si esaminano soltanto le principali ipotesi di classificazione delle diverse tipologie di modelli di utilità aleatoria utilizzati nella pratica comune, che vengono dettagliati in appendice A; nel paragrafo successivo viene proposta una trattazione inerente lo sviluppo di modelli di scelta di più recente trattazione, quali i modelli ibridi di scelta con parametri latenti, anch'essi basati sul paradigma interpretativo dell'utilità aleatoria.

Per poter ottenere dei modelli di utilità aleatoria relativamente semplici è necessario considerare delle ipotesi semplificative. Per i modelli di utilità aleatoria utilizzati nella pratica comune in genere si fa riferimento a due ipotesi, una comune a tutti i modelli, l'altra, invece, solo ad alcuni di essi. Le ipotesi cui generalmente ci si attiene sono le seguenti due:

- 1) I modelli risultano essere invarianti. Una v.a. si definisce invariante se la sua funzione di densità di probabilità, f , è indipendente dal valore medio, ovvero:

$$f(\varepsilon_j) \text{ IND } V_j \quad \forall \varepsilon_j; j \in I^i \quad (2.12)$$

Solo in virtù di tale ipotesi è quindi possibile asserire che V_j sia un valore costante e quindi esplicitare l'utilità percepita con la relazione (2.6). Tale ipotesi risulta quindi valida per tutti i modelli di scelta utilizzati nella pratica comune (ed anche per i modelli ibridi di scelta).

- 2) I residui aleatori sono identicamente ed indipendentemente distribuiti (i.i.d.) secondo una variabile aleatoria di Gumbel a media nulla e parametro di dispersione θ .

Questa seconda ipotesi, che semplifica notevolmente i modelli, permettendone un'esplicitazione in forma chiusa, non consente sempre una buona rappresentazione della realtà e, pertanto, viene in alcuni modelli abbandonata per far posto a rappresentazioni più realistiche, a prezzo di maggiori difficoltà computazionali.

Nello specifico, dire che ε_j è identicamente distribuito significa assumere che ciascun elemento sia caratterizzato dallo stesso valore di varianza, il che equivale ad assumere, irrealisticamente,

che l'utente abbia uguale livello di conoscenza di tutte le alternative appartenenti all'insieme di scelta:

$$Var[\varepsilon_j] = \frac{\pi^2 \cdot \theta^2}{6} \quad \forall j \in I^i \quad (2.13)$$

Dire invece che ε_j è indipendentemente distribuito significa assumere che il valore di covarianza tra due elementi appartenenti allo stesso insieme di scelta è nullo, il che vuol dire accettare che due alternative appartenenti allo stesso insieme di scelta non siano, in alcun modo, tra di loro correlate.

$$Cov[\varepsilon_j, \varepsilon_h] = \sigma_{j,h} \quad \forall h \neq j; j, h \in I^i \quad (2.14)$$

È evidente come quest'ultima assunzione risulti fortemente irrealistica. Per convincersene è sufficiente considerare un insieme di scelta relativo alle alternative disponibili per raggiungere una destinazione D dall'origine O. Se l'insieme si compone dei modi "auto", "bus 1" e "bus 2", con le alternative "bus" che differiscono tra di loro soltanto per il percorso effettuato per muoversi da O a D, ma non per il tempo di viaggio o per il costo del biglietto o per altri attributi, è impensabile assumere la correlazione tra i due modi "bus" pari a zero, perché, di fatti, l'utente che ha come obiettivo quello di muoversi da O a D, nella maggior parte dei casi potrebbe percepire le due alternative addirittura come un'unica alternativa.

Ciò premesso, con modelli relativamente semplici è possibile prendere in considerazione la correlazione tra le alternative, fermo restando l'assunzione di residui aleatori i.i.d. Non è invece possibile superare le problematiche legate allo stesso valore di varianza per le diverse alternative, se non rinunciando all'ipotesi di residui aleatori i.i.d.

In virtù di ciò, sfruttando l'adozione o meno della seconda ipotesi, è possibile suddividere i modelli a disposizione in due macro gruppi: modelli omoschedastici e modelli eteroschedastici. Nell'appendice A vengono presentati in maniera dettagliata entrambi i gruppi di modelli.

Maggiori dettagli relativi al processo di specificazione, calibrazione e validazione dei modelli di scelta discreta vengono forniti nel capitolo 4.

2.5.3 MODELLI DI UTILITÀ ALEATORIA AVANZATI: MODELLI IBRIDI A VARIABILI LATENTI

Nonostante l'ampia diffusione dei modelli di scelta discreta, nel settore dei trasporti i ricercatori hanno usato varie tecniche volte a catturare, in modo esplicito, i fattori psicologici che stanno alla base dei processi di scelta degli utenti, al fine di introdurli nelle procedure matematiche utilizzate per simulare il loro comportamento. La maggior parte delle applicazioni prevede l'utilizzo di modelli ad equazioni strutturali (SEM) o di modelli di scelta discreta con variabili latenti incorporate in essi (Sottile, 2014); in questi ultimi i fattori latenti e le scelte discrete vengono stimati congiuntamente, mediante tecniche di stima sequenziale o simultanea.

L'inclusione di elementi soggettivi nei modelli di scelta discreta è stato un argomento di discussione sin dall'inizio degli anni '80 (Koppelman e Lyon, 1981; McFadden, 1986). Tuttavia, i modelli con variabili latenti sono diventati popolari tra i ricercatori di trasporto molto più tardi con il lavoro di Walker (2001). Walker (2001) ha trattato due applicazioni relative al contesto trasportistico. Il primo lavoro, ispirato ad un articolo di Morikawa, Ben-Akiva e McFadden del 1996 (poi esteso da Morikawa e Sasaki nel 1998), si è concentrato sull'implementazione di un modello di scelta modale tra auto e treno, nel quale sono state incorporate due variabili latenti: comfort di guida e convenienza. Il secondo esempio, sviluppato a partire dal lavoro di Polydoropoulou (1997), è invece consistito nella stima di un modello più complesso che coinvolge più variabili latenti e combina un set di dati RP (Preferenze rivelate) con due set di dati SP (preferenze dichiarate). In entrambi gli esempi, i risultati hanno mostrato che gli attributi latenti avevano parametri significativi e che la loro inclusione comportava un grande miglioramento nella bontà di adattamento del modello di scelta discreta.

Al fine di ottenere una maggiore aderenza dei risultati dei modelli con la realtà ci si muove nell'ottica di un'integrazione dei Modelli di Scelta Discreta con i fattori psicologici. Per comprendere come in genere vengono riprodotti matematicamente i Modelli Ibridi di Scelta, HCMs (dall'inglese Hybrid Choice Models), è importante comprendere in che modo gli aspetti latenti, quali atteggiamenti, percezioni o preferenze influenzano la scelta discreta effettuata dall'utente. La seguente figura mostra lo schema della struttura del processo di scelta, come riportato in Walker (2001).

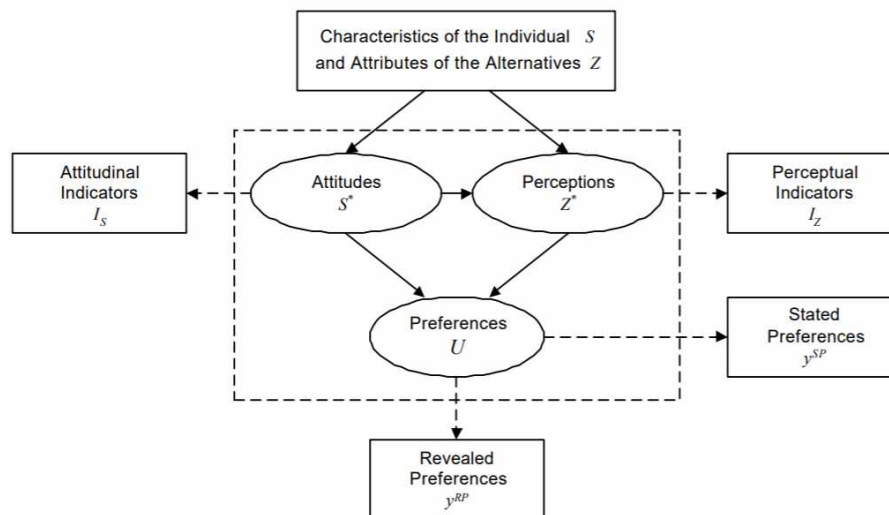


Figura 6- Struttura del processo di scelta con variabili latenti (Walker,2001).

Come nei tradizionali modelli di utilità casuale, le preferenze di un individuo sono misurate mediante un indicatore di utilità percepita che è trattato come una variabile casuale (pertanto latente). A differenza dei modelli classici però si assume che le preferenze siano influenzate, oltre che da attributi misurabili, anche da fattori psicologici quali percezioni e attitudini che, a loro volta, sono fattori inosservati e pertanto latenti.

Per poter stimare in un modello matematico questi effetti latenti, occorre disporre di una loro misurazione. Nel caso delle preferenze (utilità) le informazioni necessarie sono le stesse dei semplici Modelli di Scelta Discreta. Occorre disporre di un set di dati sulle caratteristiche oggettive delle alternative ed eventualmente dell'utente, con l'indicazione della scelta effettuata da ogni utente. Il set di dati può essere ottenuto mediante indagini sulle Preferenze Rivelate oppure sulle Preferenze Dichiarate. Le preferenze sono tradotte in decisioni attraverso un processo decisionale. Il processo attraverso il quale si prende una decisione può variare a seconda del tipo di decisione o del compito ed è influenzato dal tipo di attività, dal contesto, e dai fattori socioeconomici (Garling e Friman, 1998).

I Modelli Ibridi finora studiati assumono un processo decisionale analogo a quello visto nei Modelli di Scelta Discreta classici, in cui l'utente massimizza l'utilità percepita. Tuttavia, in teoria, è possibile anche assumere che la scelta venga effettuata utilizzando altri processi decisionali diversi dalla massimizzazione dell'utilità.

Un modello ibrido si compone di due parti: un Modello di Scelta Discreta e un Modello a Variabili Latenti, ciascuno dei quali è costituito da una o più *equazioni strutturali* che forniscono la relazione tra la variabile latente e i fattori misurabili (variabili esplicative) da cui dipende e da una o più *equazioni di misurazione* che collegano gli elementi non osservabili ai suoi indicatori osservabili.

In genere, un modello ibrido viene rappresentato adottando la struttura mostrata nella figura 7. Le ellissi rappresentano le variabili non osservabili, mentre i rettangoli rappresentano le variabili osservabili. Le equazioni di misurazione vengono identificate tramite rette tratteggiate, mentre le equazioni strutturali sono indicate tramite rette continue. Infine, le rette in rosso indicano i residui aleatori, ovvero le componenti di errore che figurano nella definizione di qualsivoglia variabile da calcolare.

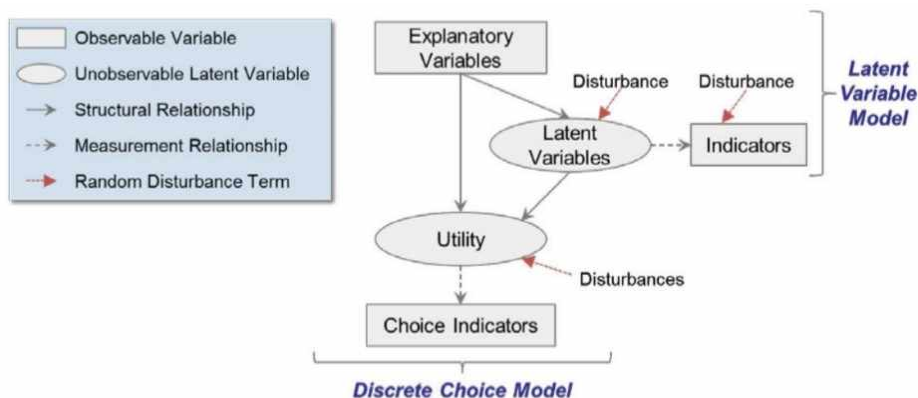


Figura 7- Rappresentazione di un modello ibrido (adattato da Walker, 2001)

Maggiori dettagli relativi alla specificazione e calibrazione dei modelli ibridi a variabili latenti vengono forniti nel capitolo 4.

2.6 MODELLI DI SCELTA DISCRETA A RAZIONALITÀ LIMITATA

2.6.1 BOUNDED RATIONALITY

La teoria economica tradizionale postula un "uomo economico" che, nel corso del suo essere "economico", sia anche "razionale". Ciò presuppone che quest'uomo abbia una conoscenza degli aspetti rilevanti del suo ambiente che, se non assolutamente completa, sia almeno decisamente chiara. Inoltre, questa visione presuppone anche che l'uomo abbia un sistema di preferenze ben organizzato e stabile e un'abilità di calcolo che gli consenta di calcolare, in base alle alternative a sua disposizione, quale di queste gli permetta di raggiungere il punto più alto della sua scala di preferenze.

Così come descritta, la razionalità assunta in economia sembra essere troppo rigida per catturare le decisioni reali delle persone. È per tale motivo che l'idea di "razionalità limitata", si è rivelata un buon compromesso, che ha aiutato la teoria comportamentale a penetrare nel mercato, nel management, nell'organizzazione, nei sistemi informativi, persino nella contabilità e nella finanza, come dimostrato da Becker (2016). Le teorie classiche dell'utilità e della preferenza contengono strumenti potenti per spiegare normativamente i comportamenti di scelta individuali, anche se la capacità di spiegazione è limitata in alcune situazioni. L'integrazione della visione descrittiva delle scoperte psicologiche nelle teorie economiche strettamente normative si è dimostrata fruttuosa.

Già negli anni '50 del secolo scorso sono state avanzate le prime critiche verso l'assunzione di un comportamento completamente razionale delle persone.

Un tema fondamentale della teoria delle decisioni comportamentali è che gli esseri umani sono "elaboratori di informazioni cognitivamente limitati" (Simon, 1978). Le persone non hanno le conoscenze e le capacità di calcolo necessarie per raggiungere il grado di razionalità prescritto dai modelli normativi di scelta. Al contrario, le persone sviluppano una serie di "euristiche" o scorciatoie cognitive che permettono loro di agire e prendere decisioni generalmente ragionevoli, nonostante le loro limitazioni cognitive (ad esempio, Kahneman, Slovic, & Tversky, 1982; Tversky & Kahneman, 1974). Il comportamento umano è ancora intenzionale, ma è caratterizzato da una "razionalità limitata" piuttosto che dalla razionalità ideale postulata dalle teorie economiche del processo decisionale (Simon, 1955).

Secondo Simon, i principali vincoli dell'uomo economico risiedono nei seguenti aspetti:

- nella sua capacità di poter attribuire ad ogni possibile risultato delle proprie scelte un "pay-off", ovvero un valore o un'utilità;
- i valori, devono essere completamente ordinati (Kenneth J. Arrow, 1951), ovvero deve essere sempre possibile specificare, in modo coerente, che un risultato sia migliore, uguale o peggiore di qualsiasi altro.

- i risultati di particolari alternative devono essere noti con certezza, o almeno deve essere possibile attribuire probabilità definite ai risultati.

Simon (1955), introduce la nozione secondo cui il comportamento razionale dell'uomo può operare a vari "livelli". In pratica l'uomo può scegliere razionalmente all'interno di un determinato insieme di limiti postulati dal modello, ma può anche impegnarsi a fissare razionalmente questi limiti. Per introdurre questo concetto, una prima semplificazione rispetto alla visione classica dell'uomo economico, è quella di assumere che $V(s)$ assuma necessariamente uno dei due valori (1, 0) o dei tre valori (1, 0, -1) per tutte le alternative. A seconda delle circostanze, potremmo voler interpretare questi valori come

- (a) soddisfacente o insoddisfacente,
- (b) o vincente, pareggiante o perdente.

Il concetto di razionalità limitata introdotto da Simon è reso sufficientemente chiaro considerando l'esempio di vendita di una casa.

Supponiamo che un individuo stia vendendo una casa. Ogni giorno k (o altra unità di tempo) egli fisserà un prezzo di accettazione per la vendita, $d(k)$.

Se nel giorno in questione riceve una o più offerte superiori a questo prezzo, accetterà l'offerta più alta $d(k)$, altrimenti conserverà la casa fino al giorno successivo per il quale fisserà un nuovo prezzo di accettazione, $d(k + 1)$.

Se il venditore disponesse di informazioni certe sulla distribuzione di probabilità delle offerte che può ricevere ogni giorno, potrebbe fissare il prezzo di accettazione in modo ottimale, ovverosia in maniera tale da massimizzare il valore atteso del prezzo di vendita, $V[d(k)]$.

In alternativa, egli potrebbe fissare, per l' n -esimo giorno di compravendita, un certo prezzo di prenotazione, $a(n)$, sufficientemente basso, tale per cui la probabilità di vendita associata a quel prezzo sia unitaria, $P_n(d)=1$.

Il prezzo di accettazione razionale nel giorno i -esimo, $d(i)$, è uguale al valore atteso del prezzo di vendita se la casa non viene venduta nel giorno i -esimo e i prezzi di accettazione sono fissati in modo ottimale per i giorni successivi.

È interessante notare che per determinare, in maniera razionale, il prezzo di accettazione il venditore avrebbe bisogno di informazioni praticamente complete sulla distribuzione di probabilità delle offerte per tutti i periodi di tempo successivi. Il venditore che non dispone di queste informazioni, nei fatti si accontenterà di una razionalità limitata, e farà delle approssimazioni per evitare di usare le informazioni che non ha. In primo luogo, probabilmente limiterà l'orizzonte di pianificazione assumendo un prezzo a cui può certamente vendere e sarà disposto a vendere nell' n -esimo periodo di tempo. In secondo luogo, fisserà un prezzo di accettazione iniziale piuttosto alto, osserverà la distribuzione delle offerte ricevute e aggiusterà gradualmente e approssimativamente il prezzo di accettazione al ribasso o al rialzo finché non riceverà un'offerta che accetta, senza mai fare calcoli di probabilità.

Simon sottolinea quindi come sia anche lo stato delle informazioni a disposizione a definire il livello di razionalità dei decisori, e riconosce l'influenza dei fenomeni di apprendimento sui comportamenti effettivi degli utenti.

In generale, Simon riconosce la razionalità degli utenti, ma non esclude il ruolo dell'inconscio nel prendere le decisioni, sottolineando come spesso il processo decisionale reale possa essere molto diverso da quello dettato dalle regole economiche, ricorrendo a sostanziali semplificazioni computazionali nell'effettuare una scelta.

D'altro canto Simon (1978) si interroga anche sulla possibilità di assumere, per tutte le scelte, un comportamento razionale. In particolare si interroga sul se una scelta debba essere considerata razionale quando ha un fine (ad esempio, ritirare un dito da un fornello caldo con lo scopo di non scottarsi), o solo quando stata fatta con uno scopo intenzionale (un abile dattilografo che batte un determinato tasto), o solo quando la scelta sia deliberata e consapevole. In generale molte azioni sono intraprese consapevolmente e deliberatamente, ma non sempre gli scopi o le ragioni sottostanti ad altre azioni sono noti agli attori che li compiono (ad esempio, il compito degli impiegati può essere semplicemente quello di archiviare certi documenti in base ai numeri di conto, pur senza saperne il motivo). Inoltre, anche una procedura svolta per la prima volta in maniera deliberata e consapevole, può diventare col tempo del tutto abituale, pur conservando la stessa utilità e lo stesso scopo. Le abitudini e le routine possono non solo servire efficacemente i loro scopi, ma anche risparmiare tempo e attenzione per le decisioni, che sono scarse e costose. Per questo motivo, è probabile che gran parte delle attività di una persona procedano secondo

regole di routine stabilite. Le routine stesse sono incarnazioni di decisioni "una volta per tutte". Quando le routine prendono il sopravvento, l'analisi dovrebbe rivolgersi ai processi che le hanno generate, e a quelli che portano, di volta in volta, a metterle in discussione e rivedere periodicamente.

Nella disamina dei comportamenti di razionalità limitata Simon (1978) si concentra anche sul ruolo svolto dalle emozioni nella definizione del comportamento degli utenti. Semplificando eccessivamente, Simon afferma che le emozioni sono associate direttamente a stimoli esterni, oppure a particolari contenuti della nostra memoria dalle esperienze passate. Quando questi stimoli appaiono, o questi ricordi sono evocati da eventi o pensieri, proviamo delle emozioni che tendono a interrompere ciò a cui stavamo precedentemente pensando e legare la nostra attenzione alla situazione o ai pensieri che le hanno evocate; Queste situazioni spostano la nostra razionalità verso altri obiettivi.

Dunque, se il comportamento umano viene osservato per un certo periodo di tempo, esso può essere assimilato a un mosaico. Ogni pezzo del mosaico è integrato con gli altri grazie al loro orientamento verso uno scopo comune; ma questi scopi cambiano di volta in volta con i cambiamenti di conoscenza e di attenzione e sono tenuti insieme solo in minima parte da una concezione di un criterio di scelta globale e razionale. Si potrebbe dire che il comportamento rivela "segmenti" di razionalità e che il comportamento mostra un'organizzazione razionale all'interno di ogni segmento, ma i segmenti stessi non hanno interconnessioni molto forti.

2.6.2 REGRET THEORY

Molti studiosi tra cui Loomes e Sugden (1982), per primi, seguiti da Bell (1982), Fishburn (1982) hanno posto le basi per la teoria del rimpianto (Regret Theory, RT), confrontandola con la teoria classica dell'utilità attesa, fondata su basi assiomatiche ed evidenziando come le sistematiche violazioni riscontrate in esperimenti pratici non potessero essere trascurate.

L'idea degli autori è di proporre una teoria alternativa alla teoria del prospetto (Kahneman e Tversky, 1979), ma più semplice e più intuitiva. La teoria del rimpianto propone di sostituire la tradizionale funzione di utilità con una funzione di utilità multiattributo che incorpora il rimpianto, definito come differenza di valore tra l'esito realmente ottenuto e il più alto valore ottenibile da altre alternative. Questa correzione della funzione di utilità rifletterebbe la variazione nell'esperienza psicologica di piacere associata ad un esito, dovuta al confronto tra l'esito attuale e gli esiti che avremmo ottenuto se avessimo scelto un'alternativa diversa.

Più nel dettaglio, nella teoria del rimpianto si assume che le scelte degli utenti vengano tarate sulle azioni e sulle loro conseguenze (stati di natura).

Sia x_{ij} la conseguenza dell' i -esima azione (A_i) sotto il j -esimo stato di natura (S_j), e sia p_j la probabilità che si verifichi il j -esimo stato di natura.

Si propone che per ogni individuo esista una funzione di utilità bernouilliana $C(\cdot)$ definita "utilità senza scelta" che assegni un indice di utilità a valore reale ad ogni conseguenza concepibile, x_{ij} . Il significato della parola "senza scelta" è che $C(x)$ è l'utilità che l'individuo trarrebbe dalla conseguenza x se la sperimentasse senza averla scelta, ovvero il grado di piacere/dolore che sarebbe associato a x , se fosse sperimentato in condizioni di certezza. Per esempio, potrebbe essere stato costretto ad avere l'alternativa x da forze naturali, o x potrebbe essere stato imposto da un governo dittatoriale.

Nella teoria bernouilliana dell'utilità attesa, l'individuo sceglie in modo da massimizzare l'aspettativa matematica di c_{ij} . Al contrario, nella teoria del rimpianto viene postulato che nelle scelte in condizioni di incertezza, ci possono essere ulteriori fonti di utilità o disutilità che modificano il livello complessivo di soddisfazione derivato. Il rimpianto e la delusione sono due di queste fonti.

L'idea centrale della teoria del rimpianto è che, quando si prendono decisioni, gli individui tengono conto non solo delle conseguenze che potrebbero sperimentare, come risultato dell'azione scelta, ma anche di come ciascuna conseguenza si confronta con quelle che avrebbero sperimentato se avessero scelto diversamente.

Supponiamo che un individuo si trovi di fronte a una scelta tra le azioni A_i e A_k e scelga A_i ; si verifica quindi lo stato S_j . Il livello di soddisfazione complessivo che ne deriva è una combinazione dell'utilità di base della conseguenza effettivamente sperimentata e di un certo decremento o incremento del livello di utilità dovuto al "rimpianto" o alla "gioia".

Si parla di rimpianto se $c_{ij} < c_{kj}$ ed in tal caso l'individuo può riflettere su quanto migliore sarebbe stata la sua posizione se avesse scelto diversamente, e questa riflessione può ridurre il piacere che trae da x_{ij} .

Si parla di gioia se $c_{ij} > c_{kj}$ ed in tal caso l'individuo può provare un piacere aggiuntivo associato alla consapevolezza di sapere che, per come sono andate le cose, ha preso la decisione migliore.

Allora, il livello complessivo di soddisfazione, o utilità modificata, è rappresentata da $c_{ij} + R(c_{ij}, c_{kj})$, dove R è una funzione di rimpianto/gioia.

La teoria del rimpianto può essere espressa in maniera più compatta definendo una funzione φ tale che:

$$\varphi(x_{ij}, x_{kj}) = c_{ij} - c_{kj} + R(c_{ij} - c_{kj}) - R(c_{kj} - c_{ij}) \quad (2.15)$$

Quindi $\varphi(x_{ij}, x_{kj})$ rappresenta l'utilità modificata di sperimentare x_{ij} e perdere x_{kj} , meno l'utilità modificata di sperimentare x_{kj} e perdere x_{ij} .

Nella teoria viene postulato che gli individui scelgano in modo da massimizzare l'utilità modificata attesa.

Utilizzando i simboli $>, \geq e \sim$ per indicare, rispettivamente, le relazioni di preferenza stretta, preferenza debole e indifferenza, questa regola decisionale è equivalente a dire che:

$$\begin{matrix} > \\ A_i \sim A_j \\ \geq \end{matrix} \iff \sum p_j \varphi(x_{ij}, x_{kj}) \begin{matrix} > \\ \sim 0 \\ \geq \end{matrix} \quad (2.16)$$

Principalmente si assume che le persone massimizzino l'utilità modificata attesa perché si tratta di un'ipotesi semplice che produce implicazioni coerenti con l'evidenza empirica. Chiaramente la massimizzazione dell'utilità modificata attesa non si pone come l'unico obiettivo consistente con la razionalità di una persona, tuttavia questo approccio risulta non irrazionale e coerente con le premesse utilitaristiche.

Inoltre, per come è impostata la teoria, adottando la massimizzazione dell'utilità modificata attesa, chi non prova affatto rammarico o gioia massimizzerà semplicemente l'utilità di scelta attesa. Questo caso speciale corrisponde alla teoria dell'utilità attesa nella sua forma tradizionale o bernoulliana, in cui l'utilità è interpretata come un'esperienza psicologica. Assumere che massimizzare l'utilità attesa modificata equivalga a generalizzare la teoria di Bernoulli è piuttosto naturale, in quanto si può prevedere che un individuo che sperimenta gioia e dispiacere cercherà di anticipare questi sentimenti e di tenerne conto quando prende una decisione in condizioni di incertezza.

Un piccolo numero di restrizioni su φ è sufficiente per generare un numero di previsioni coerenti con alcune violazioni frequentemente osservate della teoria dell'utilità attesa. La più significativa di queste restrizioni è quella della convessità. Sia x, y, z un insieme di tre conseguenze tali che $C(x) < C(y) < C(z)$. Allora la condizione di convessità è che

$$\varphi(z, y) + \varphi(y, x) < \varphi(z, x)$$

Un altro punto cruciale della teoria del rimpianto agli occhi di Sugden e Loomes è il tentativo di voler ampliare la teoria ai casi più complessi, in cui le azioni nel problema di scelta siano più di due.

L'aspetto contrastante della teoria del rimpianto rispetto alla teoria convenzionale delle scelte è che il valore di un'azione scelta dipende dalla natura delle altre azioni e di quelle scartate dall'individuo dal problema di scelta. Occorre quindi considerare tutte le alternative possibili e tutto l'insieme di azioni che deve essere scartato. Il suggerimento di Sugden per poter generalizzare la teoria del rimpianto consiste nel formulare una teoria dei pesi, che attribuisca diversa importanza ad azioni prese seriamente in considerazione per la scelta, azioni rifiutate istantaneamente o quelle che non sono state neanche considerate.

Loomes e Sugden sottolineano la difficoltà di molti economisti nell'incorporare il rimpianto nella teoria della scelta razionale perché nelle scelte in condizioni di incertezza il verificarsi di uno stato di natura piuttosto che un altro, è fuori dal controllo dell'individuo, ed è una questione di puro caso. Il criterio di razionalità non si può applicare ai desideri o ai sentimenti, ma sarebbe irrazionale non tenerne conto.

La teoria del rimpianto non aiuta a giustificare le scelte, e pertanto si pone come una teoria descrittiva e non normativa, ma il fatto che gli individui non trovino sufficienti ragioni per giustificare le loro scelte non significa che il modello di scelta da essa descritto sia irrazionale.

Sudgen ritiene che i modelli di scelta che descrive “are not contrary to reason”. Questo è un innovativo modo di pensare dal momento che secondo la teoria classica delle scelte razionali ogni scelta individuale priva di assiomi sia giudicata irrazionale; nessuno li viola consapevolmente ma quando succede va considerato un errore.

In conclusione, la teoria del rimpianto stabilisce che non esser capaci di giustificare le proprie scelte non implica aver commesso un errore, l'irrazionalità è la conseguenza dell'assenza di regole che ci prescrivano con chiarezza come comportarci. Il riesame del canone di razionalità utilizzato dalla teoria dell'utilità attesa parte quindi dalla convinzione di Sudgen che le emozioni, aspetto trascurato fino ad allora, siano influenti nei fallimenti della razionalità.

La natura anticipatoria del rimpianto e il fatto che essa sia un determinante della presa di decisioni, sono ormai condivise e alla base di tutta la ricerca sulla relazione tra rimpianto e decisioni (Zeelenberg, Pieters, 2007). Inoltre Coricelli et al. (2005) hanno mostrato che, nelle scelte successive all'esperienza del rimpianto, aumenta l'attività di aree del cervello associate al controllo cognitivo. L'esperienza del rimpianto porta quindi ad attivare meccanismi di controllo cognitivo nelle scelte successive.

2.6.3 PROSPECT THEORY

La Teoria del Prospetto nasce nel 1979 ad opera degli studiosi Daniel Kahneman e Amos Tversky, che basarono i loro studi sulle violazioni che si possono riscontrare tra il comportamento decisionale previsto dai modelli economici razionali ed il comportamento reale messo in atto dagli investitori. Il loro intento, infatti, era quello di sviluppare un modello di analisi della decisione in grado di cogliere tali discrepanze.

Si tratta dunque di un modello che non pretende di predire, quanto piuttosto di descrivere, il modo in cui le persone prendono le decisioni. Per tale motivo, i due autori sono generalmente conosciuti come i padri fondatori di una nuova disciplina, l'economia comportamentale, che riesce a coniugare due materie apparentemente molto distanti come l'economia e la psicologia in un'unione vincente in grado di descrivere non solo il comportamento economico che gli individui avranno bensì anche i motivi per i quali sono stati portati a quelle determinate scelte.

La teoria del prospetto, ed in particolare la sua applicazione al mondo della finanza portarono Daniel Kahneman a vincere il premio Nobel per l'economia nel 2002.

La teoria, focalizzandosi sulle decisioni in condizioni di rischio, partendo da un'attenta analisi dei paradossi riscontrati per la teoria dell'utilità attesa, individua diversi “effetti” che sono inconsciamente insiti nelle persone e che ne alterano le capacità cognitive e decisionali. Gli effetti individuati sono i seguenti:

Framing effect

L'“effetto contesto”, meglio noto come “framing effect”, è il primo degli effetti riscontrati dall'analisi dei paradossi. Il frame è il contesto nel quale l'individuo opera una scelta; Tversky & Kahneman hanno proposto un esperimento noto come “problema della malattia asiatica” (per un esempio si veda, Montanelli, 2018) dimostrando, come lo stesso abbia una forte influenza sulla scelta stessa.

Common ratio & Common consequence effect

Come già mostrato quando si è presentato il paradosso di Allais, la teoria di von Neumann & Morgenstern non è in grado di predire quali siano le soluzioni più appetibili, che dipendono strettamente dai gusti personali di ogni individuo, bensì suggerisce come quelle preferenze debbano necessariamente essere mantenute se le probabilità riguardanti le alternative vengono scalate dello stesso fattore. Tuttavia, nella realtà, ciò non avviene e questo fenomeno prende il nome di “Common Ratio Effect”.

Similmente a quanto asserito per il common ratio effect, la teoria dell'utilità attesa non è in grado di predire le preferenze degli individui, però asserisce che modificando il valore di un elemento in modo paritario in entrambe le opzioni queste non debbano essere colpite da una variazione nelle scelte degli stessi soggetti. Nella realtà le scelte delle persone variano, generando appunto il Common Consequence Effect.

Reflection effect

L' "effetto riflesso" considera la formulazione dei quesiti come punto di partenza, analogamente a quanto già affrontato con il framing effect. È proprio dall'analisi dei quesiti posti con preferenze sia positive che negative che si arrivò alla conclusione che rimescolando e cambiando i payoffs dai guadagni alle perdite, questo possa portare al rovesciamento delle preferenze e quindi delle scelte.

Quest'effetto mostra come un agente sia avverso al rischio nel momento in cui un prospetto è formulato "positivamente" ed al contempo più incline al rischio qualora le opzioni da scegliere si focalizzino sugli aspetti negativi. Questo effetto implica che l'agente è avverso al rischio quando il prospetto è positivo e di riflesso amante del rischio quando il prospetto è negativo.

Nel dominio positivo contribuisce un altro effetto, che prende il nome di effetto certezza, certainty effect (effetto che porta le persone a preferire un esito certo ad uno probabilistico), e che contribuisce all'avversità al rischio e quindi porta i soggetti a scegliere per l'opzione in grado di garantire un risultato certo. Al contrario, se le opzioni si focalizzano su aspetti negativi l'agente sarà portato a preferire il rischio e quindi gradire maggiormente un risultato negativo con una certa probabilità piuttosto che una perdita certa e sicura.

Da questo effetto si evince che non sempre la certezza sia preferita rispetto ad un risultato da esito probabilistico, ma piuttosto questa agisce in modo tale da aumentare l'avversione alle perdite così come il gradimento per i guadagni. Ciò è causato dall'assenza di influenza dell'effetto certezza nei prospetti negativi, dove i risultati ottenuti con certezza non vengono sovra ponderati rispetto ad i risultati probabilistici, ma al contempo questi si riflettono su di quelli positivi.

Isolation effect

L'effetto isolamento entra in gioco quando si adottano delle lotterie a più stati, per semplificare le scelte tra alternative. I soggetti sono portati a non concentrare le loro attenzioni su ciò che è uguale tra le proposte date ma piuttosto si focalizzano sulle loro differenze. Qualora si decida di dividere il prospetto in più stadi, potremmo osservare preferenze differenti per i prospetti formulati diversamente.

Endowment effect

Altro aspetto che contrasta tra teoria del prospetto e teoria dell'utilità attesa è il fatto che le persone sembrerebbero essere maggiormente focalizzate ai cambi di ricchezza piuttosto che alla cifra effettiva di cui dispongono. Le persone che dispongono di maggiori finanze iniziali saranno più flessibili in caso avvenga una perdita in confronto a persone che dispongono di capitali inferiori. Questo ha portato ad uno studio pratico nel 1990, condotto da Kahneman, Knetsch & Thaler, dal quale è emerso che la "disponibilità a pagare" (willingness to pay, WTP) da parte di tutta quella parte di soggetti che non possiedono un dato bene sia minore della "disponibilità a ricevere" (willingness to accept, WTA) di chi invece avrebbe dovuto vendere lo stesso bene: $WTA > WTP$. A questo punto gli studiosi si sono interrogati circa il motivo di tale comportamento.

L'endowment effect, cioè l'"effetto possesso", si verifica in tutti quei soggetti che possiedono un bene che viene richiesto da altre persone. Tale effetto aumenta il valore dell'oggetto stesso per chi lo detiene, modificando la concezione ed il punto di riferimento dello status quo. In assenza dell'oggetto il punto di riferimento avrà minor valore; il valore maggiore assegnatovi dai possessori è dato dal fatto che esso manifesti l'avversione alla perdita dello stesso.

Assicurazione probabilistica

Il concetto che la curva di utilità sia concava in ogni suo punto, come previsto dalla teoria di von Neumann & Morgenstern, non trova seguito nel modello della teoria del prospetto. Per comprendere

il perché di questo fatto, Tversky & Kahneman hanno proposto il seguente esempio chiamato per l'appunto "assicurazione probabilistica".

Si consideri un soggetto che si rivolge ad un'assicurazione per proteggere la propria auto.

L'assicurazione propone le seguenti alternative: l'utente pagherà la metà del premio assicurativo ed in caso di sinistro, l'assicurazione, con il 50% di probabilità, farà pagare la restante parte del premio andando però a coprire tutti i costi del danneggiamento. Nel restante 50% di probabilità però l'assicurazione rimborserà la metà del premio pagato ma non rimborserà in alcun modo il sinistro.

Chiedendo agli intervistati che risultavano essere indifferenti all'assicurarsi o meno tramite assicurazione "tradizionale, per una determinata occasione, se intendessero stipulare un'assicurazione di questo genere, l'80% delle persone intervistate ha declinato. Da ciò si evince che ridurre le probabilità di perdita da "p" a "p/2" sia meno interessante che ridurre la probabilità della perdita dalla metà a zero, ovvero ciò che comporterebbe stipulare un'assicurazione completa "tradizionale":

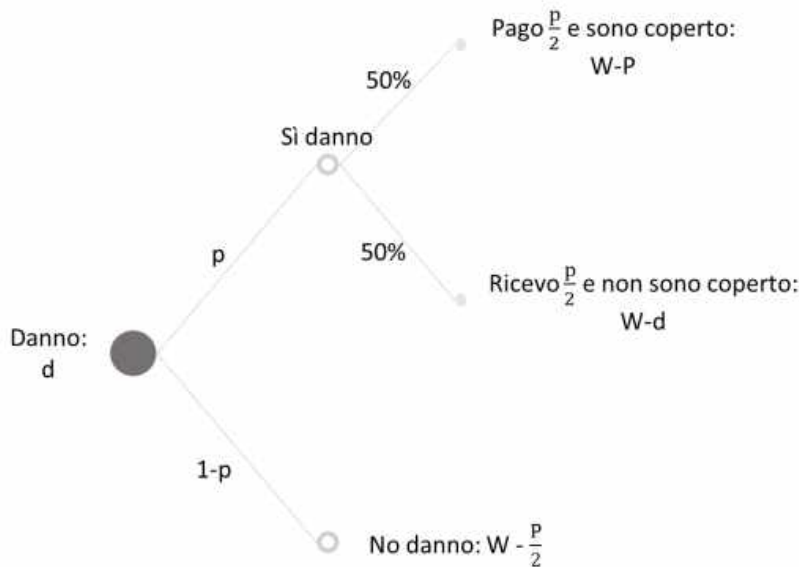


Figura 8- Albero decisionale per assicurazione probabilistica

L'albero decisionale descrive l'assicurazione probabilistica, dove "W" rappresenta la ricchezza di cui si era in possesso, "d" l'ammontare del sinistro, "p" la relativa probabilità di danneggiamento e "P" il premio assicurativo pagato.

L'agente che viene considerato come avverso al rischio, in questo caso decide di non sottoscrivere l'assicurazione nell'80% dei casi, preferendo il rischio alla copertura parziale. Ne consegue che, con riferimento alle perdite, la concavità della funzione non è veritiera proprio perché i soggetti nella realtà dei fatti hanno preferito correre un rischio laddove, seguendo la teoria dell'utilità attesa, si sarebbe dovuti essere avversi al rischio e decidere quindi di assicurarsi. Questo avviene a causa della sovra ponderazione delle piccole perdite, dimostrando come le assicurazioni a copertura "tradizionale" siano preferite a quelle ad esito probabilistico.

Pur essendo ritenuta maggiormente rischiosa, l'assicurazione probabilistica nella realtà dei fatti non è peggiore di una di stampo tradizionale, per il semplice fatto che anche questa categoria di assicurazioni non annullano completamente il rischio.

L'assunzione delle decisioni in condizioni di rischio può essere vista come una scelta tra prospetti o scommesse. Un prospetto del tipo $(x_1, p_1; \dots; x_n, p_n)$ dà esito x_i con probabilità p_i , dove $p_1 + p_2 + \dots +$

$p_n = 1$. La notazione semplificata usata da Kahneman e Tversky prevede di omettere esiti nulli; con (x, p) si indica il prospetto $(x, p; 0, 1 - p)$, che dà esito x con probabilità p ed esito 0 con probabilità $1 - p$. Il prospetto privo di rischio che dà esito x con certezza è indicato con (x) .

La teoria del prospetto di Kahneman e Tversky articola il processo di scelta in due fasi: una prima fase di sviluppo (editing phase) e una successiva fase di valutazione (evaluation phase).

La fase di editing, non è altro che una fase di analisi preliminare dei prospetti offerti, occasione nella quale si studiano e riformulano le alternative a disposizione per rendere più agevole la fase successiva di valutazione e di decisione finale. Questa fase è possibile scomporla in altre quattro sottofasi.

- Codifica; gli individui percepiscono i risultati di un prospetto in termini di guadagni e perdite, piuttosto che come stati finali di ricchezza o benessere. La codifica dei risultati avviene in relazione a un punto di riferimento: guadagni e perdite non sono dunque definiti in assoluto, come avviene nella teoria economica tradizionale (che prevede di ragionare in termini di ricchezza o di livello di consumo). Solitamente, il punto di riferimento coincide con la situazione patrimoniale dell'individuo al momento della decisione, oppure può essere la condizione in cui il soggetto stesso desidera trovarsi in futuro. La codifica dei risultati come guadagni e perdite è influenzata dunque dal posizionamento del punto di riferimento, dalla formulazione dei prospetti dati e dalle aspettative del soggetto che si trova ad assumere decisioni.
- Combinazione; rappresenta la possibilità che un individuo combini più probabilità di prospetti differenti fra di loro, che le associ e che le valuti come fossero un unico risultato.
- Cancellazione; è una diretta conseguenza dell'isolation effect. L'individuo chiamato alla scelta ignora ciò che accomuna le alternative e considera esclusivamente le alternative più salienti. Questa sottofase è inoltre molto importante nell'individuazione di tutti quei prospetti "dominanti" e di quelli "dominati".
- Segregazione; si manifesta in tutti quei soggetti chiamati a scegliere in prospetti che sono formati da una scelta priva di rischio e da un'alternativa rischiosa, che viene separata dalla prima parte.

Kahneman e Tversky introducono due operazioni aggiuntive che possono essere svolte nella fase di editing: si tratta della semplificazione (simplification) e il riconoscimento della dominanza (detection of dominance). La semplificazione consiste nell'arrotondare le probabilità e il valore degli esiti, tralasciando gli esiti che presentano probabilità estremamente basse. Il riconoscimento della dominanza consiste nello scartare i prospetti che

sono dominati e che quindi non rientreranno nella successiva fase di valutazione. Tuttavia, gli individui sono in grado di riconoscere la dominanza quando è espressamente esplicita; nel caso in cui i soggetti non siano in grado di riconoscere la dominanza, può accadere che venga preferito un prospetto dominato rispetto a uno dominante.

Dopo questa prima fase emergono molte anomalie nelle preferenze: l'ordine delle preferenze tra prospetti varia da situazione a situazione, dal momento che lo stesso prospetto può essere modificato in modi diversi a seconda del contesto in cui è collocato. È bene precisare che le scelte compiute nel presente potrebbero non risultare quelle adottate nel futuro, questo perché le scelte sono suscettibili al tempo, sia perché subentra il framing effect e sia perché l'interpretazione è una diretta conseguenza della "contabilità mentale" che studia le scelte degli agenti in termini di guadagni e perdite. Le operazioni di semplificazione sopra illustrate differiscono da un soggetto all'altro, hanno natura intuitiva e pertanto non vengono seguite in maniera rigorosa.

Successivamente alla prima fase, quella di editing, gli agenti valuteranno le opzioni disponibili in base all'interpretazione personale ed opereranno per quella che secondo loro possiede un valore maggiore.

Nella fase di valutazione, i prospetti modificati e semplificati vengono valutati e il prospetto che presenta il valore più elevato viene scelto. Kahneman e Tversky indicano con V il valore complessivo del prospetto modificato, valore che è espresso in termini di due scale: π e v .

- π associa a ogni probabilità p un peso decisionale, indicato con $\pi(p)$. Tale peso decisionale esprime l'impatto di p sul valore complessivo del prospetto, ma è importante sottolineare come esso non coincida con una misura di probabilità; inoltre, solitamente, si ha che $\pi(p) + \pi(1 - p) < 1$.
- v attribuisce a ogni risultato x un numero $v(x)$ che riflette il valore soggettivo attribuito a quel risultato. Il punto di riferimento è il valore 0 della scala, pertanto v misura gli scostamenti dal punto di riferimento, in termini di guadagni e perdite ed include inoltre anche l'avversione per le perdite.

$$V(\text{prospetto}) = \sum_{i=1}^N \pi(p_i)v(x_i) \quad (2.17)$$

dove:

- p_i è la probabilità dell'esito i -esimo;
- x_i è l'esito i -esimo;
- $\pi(\cdot)$ è la funzione di ponderazione delle probabilità (weighting function);
- $v(\cdot)$ è la funzione di attribuzione del valore dei singoli esiti (value function).

Questa formulazione non sembra, a prima vista, molto dissimile da quella basata sulla funzione di utilità, precedentemente esposta. Tuttavia, vi sono alcune differenze fondamentali:

- Le probabilità p_i e gli esiti x_i sono il risultato della fase di editing che può talvolta causare delle distorsioni rispetto alla realtà;
- Gli esiti vengono valutati in relazione ad un punto di riferimento, e non in maniera assoluta;
- La funzione di valore è il corrispettivo della funzione di utilità nella teoria dell'utilità attesa, ma presenta caratteristiche diverse;
- Le probabilità cui si fa riferimento sono ponderate in modo non lineare dalla funzione di ponderazione.

Inoltre, la determinazione del valore assoluto del prospetto varia a seconda che gli esiti siano tutti positivi o negativi: in questo caso, infatti, nella fase di editing il prospetto viene segregato al fine di separare la componente certa, che viene trattata diversamente. La componente certa, x_j , è il minimo guadagno o perdita che si può ottenere. Formalmente allora si ha:

$$V(\text{prospetto}) = v(x_j) + \sum_{i=1}^N \pi(p_i)[v(x_i) - v(x_j)] \quad (2.18)$$

Quindi, il valore del prospetto che si colloca esclusivamente nel dominio dei guadagni o delle perdite non è altro che la somma tra il valore del minimo guadagno/perdita e la sommatoria delle differenze tra il valore degli esiti rischiosi e quello certo, opportunamente ponderate. Di seguito, si analizzano più in dettaglio la funzione di valore e la funzione di ponderazione.

La funzione di valore

Attingendo ai principi psicologici della psicofisica, in particolar modo a quelli attinenti percezione e giudizio, si definisce la funzione che descrive la percezione degli individui sia in sintonia con i loro cambiamenti di stato piuttosto che con la valutazione intrinseca degli stessi. In altre parole, il contesto è l'aspetto che serve a determinare il peso e l'importanza che ogni atto possa assumere.

Il valore intrinseco del prospetto resta comunque una variabile importante e da tener sempre in considerazione, ma non è più l'unica variabile che ne determina la scelta. Questo perché la ricchezza iniziale assume un ruolo chiave poiché è identificato come il punto di riferimento del singolo agente, ed in base alla grandezza di questo valore sarà attribuita più o meno importanza al cambiamento che ne conseguirà.

Per il principio della sensibilità decrescente, le diminuzioni del valore marginale che guadagni e perdite assumono è strettamente legato all'aumentare della distanza dal punto di riferimento.

La funzione di valore, misura la deviazione del risultato dal punto di riferimento, e non il livello di ricchezza finale.

Le caratteristiche principali della funzione di valore sono:

- È definita sulla base delle variazioni, positive e negative, che gli esiti del prospetto producono rispetto a un punto di riferimento, il cosiddetto reference point;
- È concava nel dominio dei guadagni e convessa in quello delle perdite;
- È più ripida nel dominio delle perdite rispetto a quello dei guadagni. In particolare, la pendenza è massima in prossimità del punto di riferimento. Questa caratteristica esprime la cosiddetta avversione per le perdite.

Secondo Kahneman e Tversky, la formalizzazione della funzione di valore è la seguente:

$$v(x) = \begin{cases} x^\alpha & \text{se } x \geq 0 \\ -\gamma(-x)^\beta & \text{se } x < 0 \end{cases} \quad (2.19)$$

dove γ è il coefficiente di avversione al rischio.

Secondo le loro stime, i valori dei coefficienti sono $\gamma = 2.25$ e $\alpha = \beta = 0.88$ (Figura 9).

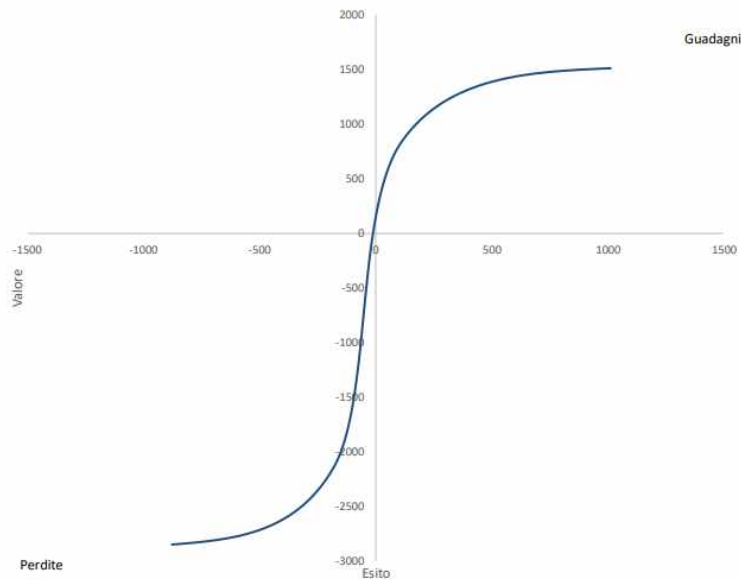


Figura 9- Andamento della funzione di valore

Si tenga presente che questa rappresentazione è comunque una semplificazione della realtà e gli stessi autori ne erano consapevoli: i due studiosi scoprirono che il valore attribuito ad un esito non dipende esclusivamente dal guadagno/perdita rispetto al punto di riferimento, bensì anche dal punto di riferimento stesso. È facilmente intuibile come un guadagno di € 10.000 sarà valutato diversamente da un individuo il cui punto di riferimento è € 100.000 rispetto ad uno il cui livello di ricchezza è € 1.000. Per questo, una rappresentazione come quella appena proposta manca di una variabile, quale appunto la ricchezza iniziale. Tuttavia, dalla ricerca empirica, gli autori hanno potuto osservare come variazioni non consistenti della ricchezza iniziale provochino variazioni trascurabili sul valore attribuito ad un esito. Dunque, considerato che l'effetto della "variazione di ricchezza" è più significativo di quello del "valore iniziale della ricchezza", la semplificazione può essere accettata.

La funzione di valore, assume un andamento "ad S", concava nel dominio dei guadagni e convessa e più ripida in quella delle perdite, è giustificata dalle evidenze. In breve, le persone giudicano piccoli cambiamenti di valore maggiore quando il valore assoluto è minore e viceversa. Inoltre, la reazione alle vincite è diversa da quella alle perdite, anche se di pari ammontare. Si richiama in questo senso l'effetto possesso.

Un altro aspetto importante della sensibilità degli individui ai cambiamenti è che tendono ad abituarsi agli stessi. In particolare, si parla di "hedonic adaptation". L'adattamento edonistico si ha quando, ad esempio, un determinato livello di ricchezza diventa normale dopo essere stato raggiunto. Perciò, dopo un cambiamento delle condizioni di vita, gli individui tendono a tornare al livello di soddisfazione che provavano in precedenza. La concavità della funzione nel dominio di guadagni implica che l'aumento del guadagno crea un maggiore effetto quando si tratta di livelli di ricchezza bassi. Ad esempio, la differenza tra il valore di un guadagno di € 1.000 e di uno pari a € 1.500 è maggiore di quella tra un guadagno di € 50.000 e uno di € 50.500: uno stesso aumento di ricchezza viene percepito come maggiore dall'individuo quando questi si trova in stati di ricchezza bassi, piuttosto che quando la sua

ricchezza iniziale è già elevata. Similmente si può interpretare la convessità della funzione nel dominio delle perdite. In altre parole, il valore marginale dei guadagni/perdite è decrescente rispetto al crescere della loro dimensione.

Di conseguenza, non si può affermare che gli individui siano sempre propensi o avversi al rischio, ma manifestano entrambe queste attitudini a seconda del contesto. In particolare, finché la scelta ricade nel dominio di guadagni essi sono avversi al rischio, qualora ci si sposti nel dominio delle perdite prevale la propensione al rischio.

Per quanto riguarda la maggior pendenza nel dominio delle perdite, essa implica che per compensare una perdita, è necessario avere un guadagno di entità maggiore. Infatti, la felicità che gli individui provano quando vincono una certa somma è minore del dispiacere che provano quando perdono lo stesso ammontare.

La funzione di ponderazione non lineare

La funzione di ponderazione, $\pi(\cdot)$, rappresenta il peso attribuito al valore di ciascun esito.

Se da un lato si trova il modello della teoria dell'utilità attesa con una risposta di tipo lineare alle variazioni probabilistiche, il modello della teoria del prospetto prevede che i risultati siano definiti in funzione di un valore più complesso, il peso decisionale $\pi(p)$ e non dalle singole probabilità. $\pi(\cdot)$, rappresenta il peso attribuito al valore di ciascun esito. Questo dipende dalla sua probabilità, ma non coincide esattamente con essa. Infatti, i pesi decisionali misurano l'impatto di eventi sulla desiderabilità dei prospetti, e non semplicemente la probabilità degli stessi. Inoltre, i pesi non rispettano le proprietà delle probabilità, quindi la loro somma non è necessariamente uguale a 1. Di conseguenza, se nella teoria dell'utilità attesa la funzione di utilità è lineare rispetto alla probabilità, nella Teoria del Prospetto ciò non si verifica.

Tversky & Kahneman preferirono questa funzione perché riusciva a spiegare meglio un fenomeno riscontrato nei loro esperimenti. Si pensi all'impatto che ha una variazione della probabilità, seppur minimo, sul modo di concepire, per il singolo agente, la possibilità che un dato evento si verifichi o meno. La funzione $\pi(\cdot)$ è caratterizzata da subproporzionalità: la sua pendenza, che può essere letta come una misura della sensitività delle preferenze degli individui ai cambiamenti di probabilità, è generalmente minore di 1 tranne alle estremità. In questi punti, infatti, le preferenze sono più sensibili alle variazioni probabilistiche. Un aumento del 5% nella probabilità di un singolo prospetto ha un impatto sensibilmente maggiore quando la probabilità che varia passa dal 95% al 100%, o analogamente dallo 0% al 5%, che su una variazione probabilistica dal 50% al 55%. Un cambio nella probabilità ha un impatto minore tanto più sono distanti dai casi limite di 0% e 100%, tale effetto si identifica con il "principio di sensibilità decrescente" delle probabilità.

Tale principio ha fatto sì che venisse definita una funzione di ponderazione che assumesse una forma concava per tutti quei valori prossimi allo 0 e convessa per i valori vicini al 100%.

Dunque, le proprietà della funzione di ponderazione risultano essere:

- La funzione di ponderazione è crescente e $\pi(0) = 0$, mentre $\pi(1) = 1$. Questo significa che gli esiti impossibili vengono ignorati ($\pi(0) = 0$).
- Quando la probabilità è piccola, la funzione di ponderazione tende a iper-ponderare la probabilità, cioè si ha $\pi(p) > p$.
- Quando la probabilità è elevata, si verifica una ipo-ponderazione, perciò $\pi(p) < p$.
- Per probabilità piccole, la funzione di ponderazione è sub-additiva, cioè $\pi(rp) > r\pi(p)$, con $0 < r < 1$. Questo significa, ad esempio, che il peso assegnato a una probabilità di 0,01 è più della metà del peso assegnato alla probabilità 0,02.
- Per $0 < p < 1$ si verifica $\pi(p) + \pi(1 - p) < 1$. Questa proprietà è la cosiddetta "subcertainty", anche nota come effetto certezza. Questo fa sì che l'atteggiamento delle persone verso gli eventi incerti sia tale per cui la somma dei pesi associati ad eventi complementari sia inferiore al peso che viene associato ad un evento certo. Di conseguenza, il principio di linearità delle preferenze rispetto alla probabilità, insito nella Teoria dell'Utilità Attesa, non può essere accettato nel caso della Teoria del Prospetto.

Graficamente, tutto questo si traduce come illustrato nella Figura 10:

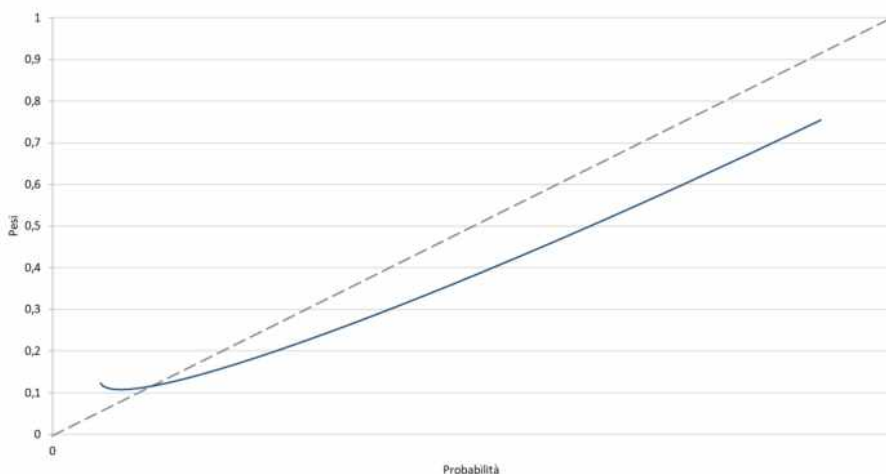


Figura 10- Andamento della funzione di ponderazione delle probabilità

Come si può osservare, nella maggior parte dei casi, i pesi decisionali risultano essere inferiori rispetto ai valori delle probabilità associate, rappresentate dalla linea tratteggiata. L'unica eccezione si ha in corrispondenza di valori bassi di probabilità, per cui i pesi sono

invece maggiori e si verifica l'iper-ponderazione. Si noti, però, che per valori estremi di probabilità, il comportamento della funzione di ponderazione può essere molto variabile. Infatti, prima di giungere alla fase di valutazione, il prospetto è oggetto della fase di strutturazione in cui, come precedentemente esposto, può accadere che eventi molto poco probabili vengano trattati come impossibili o, al contrario, eventi assai probabili vengono considerati certi.

L'idea di introdurre un peso decisionale differente era stata portata avanti dal matematico statunitense L. Savage che per primo, nel 1954, la propose. I pesi decisionali misurano con quale grado di desiderabilità i prospetti vengano modificati in seguito all'impatto di determinati eventi. La funzione di ponderazione ha il compito di descrivere come le basse probabilità di un evento vengano definiti "sub additivi", fenomeno che non sempre si verifica per le probabilità più alte. Tale fenomeno avviene perché gli individui sono soliti sovra ponderare la probabilità di prospetti che difficilmente si realizzeranno piuttosto che eventi certi.

La "sub certezza" analizza come i soggetti si pongono dinnanzi agli eventi dall'esito incerto. Il punto di flesso in cui la curva di ponderazione cambia andatura è l'esatto istante in cui l'individuo passa dal sovra ponderare un evento alla sotto ponderazione di un altro, che come già anticipato è strettamente dipendente dal singolo caso analizzato. Tuttavia, gli esperimenti condotti dagli studiosi hanno identificato questa variazione tra il 10% ed il 15%, se ne evince quindi che gli agenti siano soliti sotto stimare le probabilità.

Le maggiori implicazioni della teoria del prospetto sono sintetizzabili in cinque punti chiave:

- Il peso relativo alle decisioni è di tipo non-lineare;
- Si ha un'asimmetria tra guadagni e perdite, ciò è dovuta all'avversione al rischio quando si parla di guadagni potenziali e la propensione al rischio quando invece si affrontano le scelte con il punto di vista alle perdite;
- La sensibilità al modo in cui un quesito è posto può far variare una decisione;
- A differenza della teoria dell'utilità attesa, le scelte sono dipendenti dal contesto e dall'avversione alle perdite;
- La teoria del prospetto aggiunge molti elementi al modello e intermedia le astrazioni, incorporando delle sottocategorie di scelta che sono in grado di catturare e spiegare alcuni fenomeni.

La teoria del prospetto di Kahneman-Tversky è ben accettata come una delle migliori alternative alla teoria dell'utilità attesa. La PT non cerca di guidare le persone a prendere decisioni; invece di descrivere più accuratamente la realtà delle decisioni delle persone.

Nel 1992 Kahneman e Tversky hanno formulato un'evoluzione della teoria del prospetto del 1979, lo schema di ponderazione è una trasformazione monotona delle probabilità degli esiti. Si tratta però di uno schema che presenta due limiti:

- non può essere applicato a prospetti con un gran numero di esiti
- non sempre soddisfa la dominanza stocastica.

Questi limiti possono essere gestiti supponendo che i prospetti chiaramente dominati vengano eliminati nella fase di editing e normalizzando i pesi decisionali in modo che la loro somma dia l'unità. Un modo alternativo per superare i limiti della teoria del prospetto è quello di ricorrere alla distribuzione cumulata di probabilità. Kahneman e Tversky elaborano dunque la *teoria cumulativa del prospetto*, in cui i pesi decisionali dipendono dalla distribuzione cumulata di probabilità e in cui la funzione di ponderazione è applicata separatamente ai guadagni e alle perdite. In questo modo, la teoria del prospetto viene applicata a prospetti aleatori e rischiosi con un qualsiasi numero di esiti, mantenendo però le sue caratteristiche fondamentali.

3 Approccio Psicologico alla modellazione di comportamenti di scelta: Inquadramento Metodologico

Nel presente capitolo si propone uno stato dell'arte di diverse teorie psicologiche che negli ultimi anni hanno trovato applicazione anche nel settore dei trasporti. Tuttavia, la loro applicazione è stata poi studiata per lo più con una modellistica di tipo interpretativo.

La conoscenza di tutte queste teorie è però fondamentale e può risultare un utile riferimento a seconda dei contesti di scelta esaminati.

3.1 Information Integration Theory

Questa teoria è stata sviluppata, e ampiamente testata attraverso una varietà di esperimenti, da Norman Anderson (1971, 1981a, 1981b, 1991). La teoria dell'integrazione dell'informazione esplora come le attitudini si formano e si modificano attraverso l'integrazione (mescolanza, combinazione) di nuove informazioni con le percezioni o i pensieri esistenti.

La teoria dell'integrazione dell'informazione considera le idee di un messaggio persuasivo come pezzi di informazione, e assume che ogni informazione rilevante abbia due qualità: valore e peso. Il valore di un pezzo di informazione è la sua valutazione, favorevole o sfavorevole, mentre il peso è l'importanza percepita dell'informazione.

Affinché tale teoria risulti più chiara è utile fare un esempio. Si supponga che Steve dica a Sarah che Joe ha la coda di cavallo. Il valore di questa informazione è indicato dall'opinione che Sarah attribuisce alla coda di cavallo per un uomo:

- buona (attraente)
- cattiva (poco attraente o inappropriata).

Il peso è quanto l'acconciatura di quell'amico sia importante per Sarah.

Di conseguenza, se Sarah pensa che sia un bene per Joe portare la coda di cavallo, allora questa informazione inclina Sarah ad avere un atteggiamento favorevole nei confronti di questo amico; tuttavia, il nuovo atteggiamento di Sarah dipenderà anche da ciò che pensava di Joe prima di sapere della sua nuova acconciatura. Se prima aveva un atteggiamento favorevole nei confronti di Joe, il suo atteggiamento risulterà ancora più favorevole. D'altra parte, se Sarah aveva un atteggiamento sfavorevole nei confronti di Joe, questa nuova informazione potrebbe:

- cambiare il suo atteggiamento, se attribuisce grande importanza e valore positivo alla coda di cavallo (questo potrebbe significare che il suo atteggiamento non era così negativo)
- Non influire sul suo atteggiamento, se attribuisce poca importanza e valore positivo o negativo alla coda di cavallo.

Inoltre, è possibile che Sarah pensi che gli uomini non debbano portare i capelli legati. Questo significherebbe attribuire un valore negativo alla nuova informazione. Anche in questo caso, il nuovo atteggiamento di Sarah dipenderebbe da tre fattori: il suo atteggiamento originale, il valore che ella attribuisce alla nuova informazione e il relativo peso. Se le piaceva Joe prima di sapere della sua capigliatura, potrebbe piacerle di meno (avere un atteggiamento meno favorevole) dopo aver ricevuto tale informazione. Se, invece, il suo atteggiamento iniziale era sfavorevole, scoprire la nuova acconciatura di Joe contribuirebbe a rendere il suo nuovo atteggiamento ancora più sfavorevole. Tanto più il peso di questa nuova informazione risulta importante, tanto più l'atteggiamento di Sarah potrebbe diventare negativo.

Ricapitolando, la Teoria dell'Integrazione dell'Informazione afferma che quando otteniamo nuove informazioni (spesso da messaggi persuasivi), queste nuove informazioni influenzano i nostri atteggiamenti, pur non sostituendo i nostri atteggiamenti esistenti: quando apprendiamo importanti nuove informazioni positive, gli atteggiamenti negativi tendono a diventare meno negativi e gli atteggiamenti positivi diventano probabilmente più positivi. Inoltre, la teoria dell'integrazione delle informazioni ci dice che ogni informazione ha due importanti qualità, il peso e il valore. Entrambi i fattori influenzano i nostri atteggiamenti. Le informazioni che sono (1) di alto valore, altamente favorevoli (o altamente sfavorevoli), e (2) di alto peso (è molto importante per noi) avranno più influenza sui nostri atteggiamenti rispetto alle informazioni di basso valore (leggermente favorevoli o leggermente sfavorevoli) o peso.

Pertanto, le nuove informazioni vengono mescolate, combinate o integrate con le informazioni esistenti per creare un nuovo atteggiamento. Tuttavia, le informazioni possono essere combinate in più di un modo. Un quesito importante su cui si interroga questa teoria concerne se le nuove informazioni vengano aggiunte alle conoscenze esistenti o se vengano mediate in esse. Anche per chiarire questo aspetto è utile considerare un semplice esempio. Bob ha un atteggiamento piuttosto favorevole di +3 (su una scala da -5 a +5) verso una certa automobile. Se impara una nuova informazione (diciamo che ha i cerchi cromati) che è leggermente favorevole per lui, diciamo un +1, quale sarà il suo nuovo atteggiamento? Se aggiunge +1 e +3, allora il nuovo atteggiamento di Bob sarà più favorevole del suo attuale atteggiamento, un +4. D'altra parte, se Bob fa la media delle informazioni nuove e vecchie il suo nuovo atteggiamento dovrebbe essere meno favorevole, un +2 (1 più 3 è 4, diviso le 2 informazioni, equivale a una media di 2).

Alcuni ritengono che il modello di aggiunta sia il migliore. Ma cosa succede se uno ha diverse informazioni nuove, tutte valutate a +3 (di nuovo, in scala da -5 a +5)? Se si forniscono a Bob quattro nuove informazioni, ciascuna di entità +3, il suo atteggiamento sarebbe +3 (il suo atteggiamento iniziale) +3 +3 +3 +3, o, in totale, +15. Ma se la scala dell'atteggiamento va da -5 a +5, non può avere un atteggiamento superiore a +5. Inoltre esperimenti empirici mostrano che in situazioni come questa l'atteggiamento finale di Bob non sarebbe nemmeno +5.

Se l'aggiunta non funziona, probabilmente significa che le informazioni vengono combinate in base alla media. Se inizia con un +3 e impara quattro nuove informazioni, tutte valutate a +3, la media di queste informazioni (+3, l'atteggiamento iniziale, aggiunto a +3 +3 +3 +3 e poi diviso per 5) produrrebbe un atteggiamento finale di +3. Ma sicuramente se Bob imparasse diverse nuove informazioni favorevoli su questa macchina il suo atteggiamento diventerebbe un po' più positivo. Anche in questo caso, gli esperimenti empirici mostrano che in questo tipo di situazioni l'atteggiamento finale di Bob sarebbe superiore a +3.

Entrambe le formule si avvicinano a prevedere gli atteggiamenti delle persone, quindi sono utili; tuttavia non dovrebbe sorprendere il fatto che queste formule non prevedano gli atteggiamenti in maniera precisa. Sebbene siano stati proposti degli esempi semplici, molti atteggiamenti sono complessi e spesso si hanno idee contraddittorie per uno stesso elemento. Un atteggiamento complessivamente favorevole può essere composto sia da attitudini favorevoli (ad esempio per un'auto può risultare favorevole che essa sia economica, sportiva, veloce, maneggevole, che abbia un bel colore e i freni antibloccaggio) che sfavorevoli (troppo poco spazio di carico, niente lettore CD, elevato consumo di carburante). Affinché l'atteggiamento generale sia favorevole, le idee positive devono essere più numerose o avere un peso e un valore maggiore rispetto alle idee sfavorevoli (o essere tutte e tre le cose, ovvero essere più numerose, ed avere un peso e un valore maggiore rispetto alle idee negative).

3.2 Theory Of Reasoned Action, TRA

La teoria delle azioni ragionate (TRA, Theory of reasoned action) risale a Ajzen e Fishbein, che hanno lavorato assieme per esplorare i modi per prevedere i comportamenti delle persone.

Essa è stata sviluppata nel 1967, ma durante i primi anni '70 la teoria è stata rivista e ampliata da Ajzen e Fishbein, fino a raggiungere la sua completa formulazione nel 1980. La presente teoria viene formulata attingendo da due diversi filoni:

- a. Il primo filone è relativo a quanto formulato per la prima volta nel 1935 da Gordon W. Allport (punto di vista divenuto universale negli anni '50) secondo cui il rapporto attitudini-comportamento non era unidimensionale come pensato in precedenza, ma multidimensionale. Gli atteggiamenti erano visti come sistemi complessi costituiti dalle convinzioni della persona sull'oggetto, dai suoi sentimenti verso l'oggetto e dalle sue tendenze all'azione rispetto all'oggetto (in accordo a quanto previsto dalla teoria dell'integrazione delle informazioni). Rosenberg e Hovland nel 1960 teorizzarono che un atteggiamento della persona nei confronti di un oggetto è filtrato dall'affetto, dalla cognizione e dall'effettivo comportamento. Nel 1969, Wicker ha condotto un'ampia indagine ed ha determinato che è molto più probabile che gli atteggiamenti siano non correlati o solo leggermente correlati a comportamenti palesi di quanto non lo siano strettamente in relazione alle azioni.

- b. Il secondo filone è rappresentato dalla teoria dell'integrazione dell'informazione. Rispetto a tale teoria la teoria delle azioni ragionate introduce due importanti cambiamenti.
- In primo luogo, viene aggiunto un altro elemento nel processo di persuasione, l'intenzione comportamentale. Piuttosto che tentare di prevedere gli atteggiamenti, come fa la teoria dell'Integrazione dell'Informazione, la TRA si occupa esplicitamente del comportamento. Tuttavia, questa teoria riconosce anche che ci sono situazioni (o fattori) che limitano l'influenza dell'atteggiamento sul comportamento. Per esempio, se il nostro atteggiamento ci porta a voler uscire per un appuntamento ma non abbiamo soldi, la nostra mancanza di soldi ci impedirà di uscire per un appuntamento. Pertanto, la suddetta teoria predice l'intenzione comportamentale, ovvero un compromesso tra fermarsi alle previsioni dell'atteggiamento e prevedere effettivamente il comportamento. Poiché separa l'intenzione comportamentale dal comportamento, la TRA discute anche i fattori che limitano l'influenza degli atteggiamenti (o intenzione comportamentale) sul comportamento.
 - Il secondo cambiamento rispetto alla teoria dell'integrazione dell'informazione è che la presente teoria considera due elementi, gli atteggiamenti e le norme sociali (o le aspettative delle altre persone), per prevedere l'intento comportamentale. Cioè, ogni volta che i nostri atteggiamenti ci portano a fare una cosa, ma le norme pertinenti suggeriscono che dovremmo fare qualcos'altro, entrambi i fattori influenzano il nostro intento comportamentale. Per esempio, gli atteggiamenti di John possono incoraggiarlo a voler leggere un libro di Harry Potter, ma i suoi amici potrebbero pensare che questa saga sia infantile. John fa quello che suggeriscono i suoi atteggiamenti (leggere il libro) o quello che suggeriscono le norme dei suoi amici (non leggere il libro)?

La TRA è ampiamente studiata dalla psicologia sociale, che si occupa dei determinanti dei comportamenti. Gli scopi specifici di questa teoria sono i seguenti:

- a) Predire e comprendere le influenze motivazionali su un comportamento reale dell'individuo.
- b) Identificare come e dove indirizzare le strategie per cambiare il comportamento reale.
- c) Spiegare virtualmente qualsiasi comportamento umano dall'accettazione dello shopping online al perché una persona compra un'auto nuova, vota contro un certo candidato, è assente dal lavoro ecc.

Secondo la TRA l'esecuzione di un determinato comportamento da parte di una persona è determinata dalla sua intenzione comportamentale (BI, behavioral intention) di eseguire il comportamento, e la BI è determinata congiuntamente dall'atteggiamento (A, attitude) della persona verso un comportamento/uso e dalla norma soggettiva (SN, subjective norm) relativa al comportamento in questione. Ciascuno dei due fattori determina la BI con pesi relativi tipicamente stimati tramite la regressione:

$$BI = A + SN \quad (3.1)$$

Una rappresentazione schematica di quanto assunto dalla TRA è riportata di seguito (Figura 11).

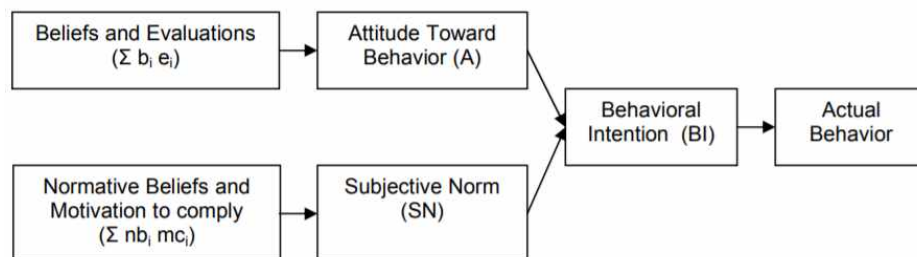


Figura 11- Teoria delle azioni ragionate (Ajzen e Fishbein, 1980)

La BI è una misura della forza della propria intenzione di eseguire un determinato comportamento. L'attitudine, A, verso un comportamento è il grado in cui la performance del comportamento è valutata positivamente o negativamente.

La norma soggettiva, SN, si riferisce alla "percezione della persona da parte delle persone per lui importanti" (Fishbein e Ajzen 1975, p. 302), ovvero come queste persone credono che dovrebbe agire

circa il comportamento in questione. Dunque, la norma soggettiva è la pressione sociale percepita per impegnarsi o meno in un comportamento reale. Si presume che la norma soggettiva sia determinata dall'insieme delle credenze normative accessibili riguardo alle aspettative di importanti referenti (Ajzen e Fishbein, 1980). L'enfasi sulla pressione sociale è più precisa quando si tratta di persone che fanno qualcosa per la prima volta o che fanno qualcosa che non è la loro specialità. Inoltre è presumibile che ci siano effetti diversi sui gruppi di riferimento quando si tratta di servizi per il tempo libero rispetto a quando l'individuo è costretto a utilizzare nuovi servizi come sul posto di lavoro.

Secondo la TRA, l'atteggiamento di una persona nei confronti di un comportamento è determinato dalle sue convinzioni salienti (b_i) sulle conseguenze dell'esecuzione del comportamento moltiplicate per la valutazione (e_i) di tali conseguenze:

$$A = \sum b_i \cdot e_i \quad (3.2)$$

Le convinzioni (b_i) sono definite come la probabilità soggettiva per l'individuo che l'esecuzione del comportamento target comporti una conseguenza i . Il termine di valutazione (e_i) si riferisce a "una risposta valutativa implicita" alla conseguenza (Fishbein e Ajzen, 1975). Anche se una persona può avere molte convinzioni comportamentali rispetto a qualsiasi comportamento, solo un numero relativamente piccolo è facilmente accessibile in un dato momento. Si presume che queste convinzioni accessibili determinino l'attitudine prevalente verso il comportamento. L'equazione (3.1) rappresenta una visione informatica della formazione e del cambiamento dell'atteggiamento, che presuppone che gli stimoli esterni influenzino gli atteggiamenti solo indirettamente attraverso cambiamenti nella struttura delle credenze della persona. La TRA teorizza che la norma soggettiva di un individuo (SN) è determinata da una funzione moltiplicativa delle sue convinzioni normative (nb_i), cioè le aspettative percepite di specifici individui o gruppi di riferimento, e della sua motivazione a conformarsi (mc_i) a queste aspettative (Fishbein e Ajzen 1975, p. 302):

$$SN = \sum nb_i \cdot mc_i \quad (3.3)$$

Le credenze normative si riferiscono alle aspettative comportamentali percepite da individui o gruppi di riferimento importanti come il coniuge, la famiglia e gli amici della persona. Si presume che queste convinzioni normative, in combinazione con la motivazione della persona a rispettare i diversi referenti, determinano la norma soggettiva prevalente. La TRA è un modello generale e, come tale, non specifica le convinzioni che hanno effetto per un particolare comportamento. Fishbein e Ajzen (1975, p. 218) e Ajzen e Fishbein (1980, p. 68) suggeriscono di individuare da cinque a nove convinzioni salienti utilizzando interviste a risposta libera su un campione rappresentativo ed estrapolando le risposte più frequentemente fornite.

Per quanto detto, gli atteggiamenti (come nella teoria dell'integrazione dell'informazione) e le norme soggettive hanno due componenti.

Pertanto, abbiamo diverse opzioni per cercare di persuadere qualcuno. Il primo gruppo di opzioni è simile alle strategie individuate dalla teoria dell'integrazione dell'informazione:

- rafforzare la forza di convinzione di un atteggiamento che sostiene l'obiettivo persuasivo.
- rafforzare la valutazione di un atteggiamento che supporta l'obiettivo persuasivo
- indebolire la forza di convinzione di un atteggiamento che si oppone all'obiettivo persuasivo
- indebolire la valutazione di un atteggiamento che sostiene l'obiettivo persuasivo
- creare un nuovo atteggiamento con una forza di convinzione e una valutazione che supporti l'obiettivo persuasivo
- ricordare all'intervistato un atteggiamento dimenticato con una forza di convinzione e una valutazione che sostiene l'obiettivo persuasivo.

Ad esempio, supponiamo di voler convincere la propria coinquilina, Pat, ad andare a vedere un film. Se Pat avesse un atteggiamento positivo nei confronti di quel film ("Ho sentito dire che quel film è divertente"), si potrebbe cercare di aumentare la forza di convinzione ("Tutti dicono che è divertente; non c'è dubbio") o di valutazione ("Quel film non è solo divertente, è esilarante!") di quell'atteggiamento. Se Pat avesse un atteggiamento negativo nei confronti della partecipazione al film ("Il cinema è decrepito") si potrebbe cercare di ridurre la forza di convinzione ("L'hanno rimodellato") o di valutazione ("L'importante è il film, non il teatro") di quell'atteggiamento negativo. Si potrebbe creare un nuovo

atteggiamento favorevole ("Ho sentito che la colonna sonora di questo film è fantastica!") o ricordare a Pat un atteggiamento favorevole. Analogamente a quanto postulato dalla teoria dell'integrazione dell'informazione, le diverse informazioni quindi individuano delle credenze in grado di alterare l'atteggiamento preesistente nei confronti dell'obiettivo persuasivo.

Tuttavia, l'aggiunta delle norme soggettive crea diverse altre opzioni:

- rafforzare una convinzione normativa che sostiene l'obiettivo persuasivo
- aumentare la motivazione a rispettare una norma che sostiene l'obiettivo persuasivo
- ridurre una convinzione normativa che si oppone all'obiettivo persuasivo
- ridurre la motivazione a rispettare una norma che si oppone all'obiettivo persuasivo
- creare una nuova norma soggettiva che supporti l'obiettivo persuasivo
- ricordare all'intervistato una norma soggettiva dimenticata che sostiene l'obiettivo persuasivo.

Per esempio, si potrebbe cercare di rafforzare una credenza normativa esistente ("Nessuno dovrebbe stare a casa il venerdì sera") o di aumentare la motivazione a conformarsi ("Ti sentirai davvero depressa se resti a casa - la gente ha ragione quando dice che non bisogna stare a casa il fine settimana"). Se Pat pensa che sia sbagliato andare al cinema con una coinquilina piuttosto che ad un appuntamento, si potrebbe cercare di indebolire questa convinzione normativa o la sua motivazione a rispettarla. Inoltre, si potrebbe cercare di creare una nuova norma ("Tutti andranno a vedere i film di questo regista") o ricordare a Pat una norma dimenticata.

Infine, il fatto che ci siano due influenze sull'intenzione comportamentale, gli atteggiamenti e le norme, dà un'ultima possibilità di persuadere gli altri: se una componente (atteggiamenti, norme) sostiene l'obiettivo persuasivo più dell'altra, rende quella componente più importante dell'altra.

Nel settore dei trasporti, la TRA è stata applicata da Alzahrani et al. (2019) per comprendere le attitudini individuali verso l'adozione di veicoli ibridi in Arabia Saudita. A tal fine, è stato intervistato un campione della popolazione saudita, contattato tramite una combinazione di liste di e-mail (di una grande università pubblica, di una piccola università e di aziende private), social media (Twitter, Facebook e LinkedIn) e messaggistica (WhatsApp). I dati sono stati raccolti utilizzando un questionario online autosomministrato, rivolto agli intervistati sauditi di età pari o superiore ai 18 anni. I costrutti dell'indagine relativi al TRA sono stati adattati da Wang et al. (2014) per via delle analogie con l'argomento e l'obiettivo della ricerca. Oltre alla relazione tra i due costrutti principali della TRA e dell'intenzione comportamentale, è stata testata anche l'influenza di un ulteriore costrutto, la preoccupazione ambientale, ipotizzando che fosse positivamente correlata all'atteggiamento e alle norme soggettive relative all'adozione dei veicoli ibridi. Le relazioni tra i diversi costrutti sono state confermate. Ciò che è importante sottolineare è che in questo studio, come in molti altri che hanno visto l'applicazione di paradigmi alternativi nel settore dei trasporti, è stato possibile, dai dati raccolti, modellare le relazioni rispetto all'intenzione comportamentale, ma non rispetto al comportamento effettivo degli intervistati.

3.3 Theory Of Planned Behavior, TPB

La teoria del comportamento pianificato (Ajzen, 1985) è un'estensione della teoria dell'azione ragionata resa necessaria dalle limitazioni del modello originale nel trattare comportamenti reali su cui le persone hanno una scarsa capacità di controllo volontario. La TRA funziona meglio se applicata a comportamenti reali che sono sotto il controllo volitivo della persona. Se i comportamenti reali non sono completamente sotto controllo volitivo, anche se una persona può essere fortemente motivata dalle proprie attitudini e dalla propria norma soggettiva, non può effettivamente eseguire il comportamento reale a causa dell'intervento delle condizioni al contorno. Pertanto, la Teoria del comportamento pianificato (TPB) è stata sviluppata per prevedere i comportamenti in cui gli individui hanno un controllo volitivo incompleto. La Figura 12 illustra la teoria sotto forma di diagramma strutturale. Come nella teoria originale dell'azione ragionata, un fattore centrale nella teoria del comportamento pianificato è l'intenzione dell'individuo ad eseguire un determinato comportamento. L'intenzione è considerata per catturare i fattori motivazionali che influenzano il comportamento reale: quanto le persone sono disposte a provare e quanto sforzo stanno pianificando di esercitare al fine di eseguire il comportamento reale. Come regola generale, maggiore è l'intenzione di impegnarsi in un comportamento reale, più probabile dovrebbe essere la sua performance. Dovrebbe essere chiaro, tuttavia, che un'intenzione comportamentale può trovare espressione nel

comportamento reale solo se il comportamento in questione è sotto controllo volitivo, cioè se la persona può decidere a suo piacimento di eseguire o meno il comportamento effettivo. Anche se alcuni comportamenti possono in realtà soddisfare abbastanza bene questo requisito, le prestazioni nella maggior parte dei casi dipendono, almeno in una certa misura, da fattori non motivazionali, come la disponibilità di opportunità e risorse necessarie (ad esempio, tempo, denaro, competenze), cooperazione di altri, etc...; Collettivamente, questi fattori rappresentano l'effettivo controllo delle persone sul comportamento. Nella misura in cui ha opportunità e risorse necessarie, e intende eseguire il comportamento effettivo, un soggetto dovrebbe riuscire a farlo.

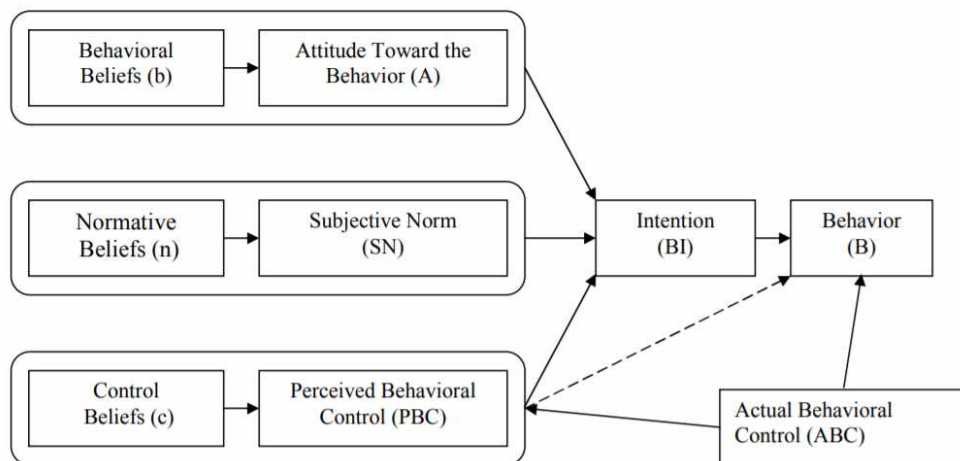


Figura 12- Teoria del comportamento pianificato (Ajzen e Fishbein, 1991)

Nella teoria in esame i concetti di attitudine verso un comportamento e di norma sociale, nonché le convenzioni che concorrono a determinarle restano invariate rispetto a quanto previsto dalla TRA. Le convinzioni di controllo, c, hanno a che fare con la consapevolezza dei fattori che possono facilitare o impedire l'esecuzione di un comportamento effettivo. Si presume che queste convinzioni di controllo determinino il controllo comportamentale percepito, PBC. Il controllo comportamentale effettivo, ABC, si riferisce alla misura in cui una persona ha le competenze, le risorse e gli altri prerequisiti necessari per eseguire un comportamento effettivo. Il successo del comportamento dipende non solo dall'intenzione favorevole, ma anche da un sufficiente livello di controllo comportamentale. Nella misura in cui il controllo comportamentale percepito è accurato, può servire come proxy del controllo effettivo e può essere utilizzato per la previsione del comportamento effettivo. Il fattore di controllo comportamentale percepito (PBC) riflette sia l'esperienza passata che i fattori esterni, come gli impedimenti previsti, gli ostacoli, le risorse e le opportunità che possono influenzare la performance del comportamento reale (Ajzen e Fishbein, 1980). Esso è dato dalle convinzioni di controllo, ovvero dalla probabilità percepita, c_i , di incontrare fattori che faciliteranno o inibiranno la performance di successo del comportamento reale, ponderate dal relativo potere percepito, p_i , di facilitare o inibire la performance.

$$PBC = \sum c_i \cdot p_i \quad (3.4)$$

Le percezioni riguardanti l'abilità possono essere diverse dal controllo effettivo. Tuttavia la sensazione di controllo, è particolarmente importante quando si tratta di approcciarsi a cose nuove. In studi recenti sono state apportate correzioni alla visione secondo cui il concetto di controllo comportamentale percepito è composto da due componenti: l'auto-efficacia (che riguarda in gran parte la facilità o la difficoltà di eseguire un comportamento reale) e la controllabilità (la misura in cui la performance è a carico dell'attore).

L'intenzione è la rappresentazione cognitiva della disponibilità di una persona a compiere un determinato comportamento, ed è considerata l'antecedente immediato del comportamento. L'intenzione si basa sull'atteggiamento verso il comportamento, la norma soggettiva e il controllo comportamentale percepito,

con ogni predittore ponderato per la sua importanza in relazione al comportamento e alla popolazione di interesse:

$$BI = w_3A + w_4SN + w_5PBC \quad (3.5)$$

Con w_3, w_4, w_5 = pesi relativi rispettivamente ad A, SN e PBC.

L'intenzione comportamentale è stata a lungo riconosciuta come un importante mediatore nella relazione tra il comportamento e altri fattori come l'atteggiamento, il controllo comportamentale soggettivo e percepito (Ajzen e Fishbein, 1980).

Secondo la teoria del comportamento pianificato, il controllo comportamentale percepito, insieme all'intenzione comportamentale, può essere usato direttamente per prevedere il comportamento. Matematicamente, quanto appena detto equivale a:

$$B = w_1BI + w_2PBC \quad (3.6)$$

Con w_1, w_2 = pesi relativi rispettivamente a BI e PBC.

Almeno due razionalità possono essere offerte per questa ipotesi. In primo luogo, mantenendo costante l'intenzione, è probabile che con il controllo comportamentale percepito aumenti lo sforzo per portare un comportamento ad una conclusione positiva. Ad esempio, anche se due individui hanno ugualmente forti intenzioni di imparare a sciare, ed entrambi cercano di farlo, la persona che è fiduciosa che può padroneggiare questa attività è più propensa a perseverare di quanto lo sia chi dubita della sua capacità. La seconda ragione per aspettarsi un collegamento diretto tra il controllo comportamentale percepito e la realizzazione del comportamento è che il controllo comportamentale percepito può spesso essere utilizzato come sostituto di una misura di controllo comportamentale effettivo. Se una misura del controllo comportamentale percepito può sostituire una misura di controllo effettivo dipende, naturalmente, dall'accuratezza delle percezioni. Il controllo comportamentale percepito può non essere particolarmente realistico quando una persona ha relativamente poche informazioni sul comportamento, quando i requisiti o le risorse disponibili sono cambiati, o quando ci si trova ad affrontare situazioni nuove e sconosciute. In tali condizioni, una misura del controllo comportamentale percepito può aggiungere poco all'accuratezza della previsione comportamentale.

Tuttavia, nella misura in cui il controllo percepito è realistico, può essere usato per predire la probabilità di un tentativo comportamentale di successo (Ajzen, 1985).

Dunque il comportamento è funzione ponderata dell'intenzione e del controllo comportamentale effettivo (o percepito); e l'intenzione è la somma ponderata dell'atteggiamento, della norma soggettiva e del controllo comportamentale percepito.

Nel settore dei trasporti, la TPB è stata adottata in molti studi per comprendere le relazioni chiave tra atteggiamenti, norme sociali, controllo comportamentale percepito e intenzione comportamentale. Inoltre, la stessa teoria viene spesso ampliata con nuovi costrutti ritenuti utili in base all'argomento indagato. Wang et al. (2014) hanno impiegato un modello TPB esteso per esplorare l'intenzione dei consumatori di adottare gli HEV in Cina. In questo caso, sono stati aggiunti due nuovi costrutti: la norma morale, MN, ovvero la responsabilità che un individuo sente di compiere un certo tipo di azione e la preoccupazione ambientale, ovvero la consapevolezza verso vari tipi di problemi e questioni ambientali. La preoccupazione ambientale dei consumatori influisce indirettamente sull'intenzione di adozione ed è risultata significativamente correlata in modo positivo ai tre elementi primari del modello TPB e alla norma morale personale, che a loro volta influenzano positivamente l'intenzione di adozione. Inoltre, è emerso che anche la norma morale personale ha un impatto positivo sull'intenzione di adozione. Analogamente, Shalender e Sharma (2020) hanno adottato lo stesso modello per prevedere l'intenzione di adozione verso l'acquisto di veicoli elettrici e l'analisi empirica dello studio ha mostrato che l'atteggiamento, la norma soggettiva, il controllo comportamentale percepito, la norma morale e la preoccupazione ambientale hanno una relazione positiva con l'intenzione di adozione degli acquirenti.

Inoltre, Asadi et al. (2020) hanno esteso la TPB per indagare i fattori che influenzano l'intenzione dei consumatori di utilizzare i veicoli elettrici nel contesto malese. In questo caso, il modello di ricerca è stato sviluppato sulla base di due modelli teorici (Modello di attivazione della norma e Teoria del comportamento pianificato). Secondo i risultati, il valore percepito, l'atteggiamento, l'attribuzione di responsabilità, le norme soggettive, le norme personali, l'efficacia percepita dal consumatore e la consapevolezza delle conseguenze hanno influenzato in modo significativo e positivo l'intenzione di

acquisto dei veicoli elettrici da parte dei consumatori. In questo lavoro, la consapevolezza delle conseguenze (AC) si basa sull'ipotesi che i consumatori siano consapevoli degli impatti indesiderati dei veicoli a combustibile fossile, tra cui la crisi energetica, le emissioni pericolose e il degrado ambientale. È emerso che la consapevolezza delle conseguenze, AC, e l'attribuzione di responsabilità, AR, sono positivamente e significativamente associate alle norme personali, PN. Inoltre, AC ha mostrato i maggiori effetti positivi su AR. Anche l'efficacia percepita dal consumatore (PCE) è risultata un forte antecedente della norma personale e l'ha influenzata positivamente. Infine, il valore percepito (PV) ha influenzato in modo significativo l'intenzione di utilizzare i veicoli elettrici.

Studi recenti, comunque, hanno visto una grandissima applicabilità della TPB nel settore trasporti per studiare contesti di scelta anche molto diversi. Ad esempio José et al. (2022) e Batoool et al. (2022) hanno applicato la teoria per investigare forme di mobilità attiva, Ibrahim et al. (2022), Yang et al. (2022), Sam (2019), Kim e Hall (2022) hanno avuto come tematica di interesse gli spostamenti in bicicletta, Elrose et al. (2022) si sono concentrati sui veicoli connessi, Jing et al. (2019) hanno investigato i veicoli autonomi privati e in sharing, mentre Ehteshamrad et al. (2022), Bandyopadhyaya et al. (2022), Baig et al. (2022), Rezaimoghadam et al. (2022), Sheng e Zhang (2022) e Hauslbauer et al. (2022) hanno avuto come principale interesse il trasporto pubblico.

3.4 Diffusion Of Innovation Theory, DOI

Nel 1962 EM Rogers ha pubblicato la Teoria della diffusione delle innovazioni (DOI, Diffusion Of Innovation o DIT, Diffusion of Innovation Theory), poi ampliata e modificata fino agli anni 2000; è un'ampia teoria sociale e psicologica che ha lo scopo di aiutare a prevedere come le persone prendono le decisioni inerenti all'adozione di un'innovazione (Rogers, 1995; Rogers & Shoemaker, 1983).

3.4.1 Gli elementi della diffusione delle innovazioni

Rogers definisce la diffusione come "il processo in cui un'innovazione viene comunicata attraverso determinati canali nel tempo tra i membri di un sistema sociale". Rogers (1983; 2002) afferma che la diffusione è un processo in cui le nuove idee (innovazioni) vengono comunicate in una struttura sociale, in un modo specifico e per un certo periodo di tempo; In pratica la diffusione avviene a partire da un certo numero di persone che parlano con altre persone dell'adozione di un'innovazione. Come tale, l'adozione di un'innovazione non può essere pienamente compresa senza prendere in considerazione il sistema sociale. In virtù di quanto appena detto vengono individuati 4 elementi chiave per la diffusione delle innovazioni:

- 1) **Innovazione.** Rogers fornisce la seguente descrizione di un'innovazione: "Un'innovazione è un'idea, una pratica o un progetto che è percepita come nuova da un individuo o da un'altra unità di adozione" (Rogers, 2003, p. 12). L'elemento innovativo può anche essere stato inventato molto tempo prima, ma se gli individui lo percepiscono come nuovo, allora può essere ancora ritenuto un'innovazione. Il maggiore ostacolo all'adozione di un'innovazione è l'incertezza che risiede nelle conseguenze apportate dalla stessa. Rogers definisce anche le conseguenze come "i cambiamenti che si verificano in un individuo o in un sistema sociale come risultato della adozione o rifiuto di un'innovazione" (Rogers, 2003, p. 436). Per ridurre l'incertezza dell'adozione di un'innovazione, le persone dovrebbero essere informate e consapevoli dei suoi vantaggi e svantaggi. Inoltre, Rogers ha sostenuto che le conseguenze possono essere classificate come desiderabili o indesiderabili. (funzionale o disfunzionale), dirette e indirette (risultato immediato o risultato del risultato immediato), e previsto e imprevisto (riconosciuto o non riconosciuto).
- 2) **Canali di comunicazione.** Il secondo elemento del processo di diffusione delle innovazioni è costituito dai canali di comunicazione. Per Rogers (2003), la comunicazione è "un processo in cui i partecipanti creano e condividono informazioni tra loro al fine di raggiungere una comprensione

reciproca". Questa comunicazione avviene attraverso canali tra le fonti. Rogers afferma che "una fonte è un individuo o un'istituzione che origina un messaggio. Un canale è il mezzo attraverso il quale un messaggio arriva dalla sorgente al destinatario" (p. 204). Rogers sostiene che la diffusione è un tipo specifico di comunicazione e comprende questi elementi di comunicazione: un'innovazione, due individui o altre unità di adozione, e un canale di comunicazione. Nei canali interpersonali, la comunicazione può avere una caratteristica di omofilia, cioè "il grado in cui due o più individui che interagiscono sono simili in certi attributi, come le credenze, l'educazione, lo status socioeconomico e simili", ma la diffusione delle innovazioni richiede almeno un certo grado di eterofilia, che è "il grado in cui due o più individui che interagiscono sono diversi in certi attributi".

- 3) **Tempo.** Secondo Rogers (2003), l'aspetto temporale è spesso ignorato nella maggior parte delle ricerche comportamentali. Egli sostiene che l'inclusione della dimensione temporale nella ricerca sulla diffusione determini uno dei suoi punti di forza. I concetti legati al processo di innovazione-diffusione, la categorizzazione degli adottanti e il tasso di adozione includono tutti una dimensione temporale.

Sistema sociale. Il sistema sociale è l'ultimo elemento del processo di diffusione. Rogers (2003) ha definito il sistema sociale come "un insieme di unità interrelate impegnate nella risoluzione comune dei problemi per raggiungere un obiettivo comune" (p. 23). Egli ha inoltre affermato che la natura del sistema sociale influisce sulla capacità di innovazione degli individui, che è il criterio principale per la categorizzazione degli adottanti.

I consumatori sono esposti al sistema sociale dei loro amici, famiglie, membri e altre connessioni, che possono potenzialmente influenzare le proprie decisioni e i propri comportamenti verso l'innovazione. Di conseguenza, i consumatori valutano un'innovazione vedendo e imparando da altre persone che utilizzano l'innovazione e decidono se vale la pena adottare l'innovazione (Young, 2009). Il modo di comunicare gioca un ruolo cruciale nel modo in cui l'innovazione viene adottata. Rogers (1983) ritiene che la diffusione delle idee abbia successo quando persone con un simile quadro di riferimento interagiscono. La natura della loro relazione determina se un individuo (che ha adottato o ha conoscenza della nuova innovazione) comunicherà l'innovazione ad un altro individuo che non ha conoscenza dell'innovazione.

Strettamente legato al concetto di sistema sociale è anche quello di **influenza sociale**, indicato come elemento fondamentale in diversi studi di letteratura relativi alla teoria della diffusione delle innovazioni. L'influenza sociale rappresenta in che misura i membri di un gruppo di riferimento influenzano il comportamento dell'altro (Kelman, 1958), e dunque identifica l'adozione di un'innovazione da parte di persone che adottano la stessa in un motivo di conformità, che si verifica quando un numero sufficiente di altri influenti hanno adottato l'innovazione (Young, 2009). L'impatto di persone influenti è importante nel processo decisionale di adozione degli individui, proprio perché le persone considerano il loro contesto sociale quando definiscono le loro attitudini, comportamenti e credenze (Salancik & Pfeffer, 1978). Come tale, l'influenza sociale è stata riconosciuta come fattore essenziale nella letteratura inerente alla teoria della diffusione dell'innovazione (ad esempio, Cooper & Zmud, 1990; Young, 2009). L'influenza sociale ha un impatto sul processo decisionale delle persone in materia di adozione, perché riduce l'incertezza e offre alle persone l'opportunità di avere influenze sociali informative e normative (Lu, Yao, & Yu, 2005).

Si identificano quattro attori di ruolo che influenzano le innovazioni che il sistema sociale adotta: gli "opinion leader", gli agenti di cambiamento, gli aiuti agli agenti di cambiamento e l'agenzia di cambiamento. Le persone con un alto livello di influenza e di rango nella struttura della comunicazione sono etichettate come "opinion leader". Secondo la teoria, gli agenti del cambiamento spesso li hanno usati per influenzare i sistemi sociali per adottare o rifiutare le innovazioni. I "Change agents" o agenti di cambiamento sono definiti come figure professionali con una laurea in tecnologia. Sono ipotizzabili lacune nella comunicazione tra gli agenti di cambiamento e i potenziali adottanti in

base al livello di istruzione. Ciò crea un bisogno di ausili per gli agenti di cambiamento, che non sono così altamente qualificati come gli agenti di cambiamento, ma che hanno gli stessi quadri di riferimento (omofilia) dei potenziali adottanti. Questo porta a una migliore comunicazione con i potenziali adottanti e, di conseguenza, alla diffusione dell'innovazione. Lo scopo del ruolo di aiuto agli agenti di cambiamento è anche quello di assistere le agenzie di cambiamento nella gestione dei costi. Lo scopo di un'agenzia di cambiamento è di assicurare che le innovazioni siano rifiutate o adottate dai sistemi sociali (decisione collettiva sull'innovazione) e/o dai membri (decisione opzionale sull'innovazione) all'interno del sistema. Il fatto che un'innovazione venga adottata o rifiutata dipende dal potere, dal rango o dalla competenza di pochi individui selezionati all'interno di un sistema sociale (autorità dell'innovazione-decisione). Alcuni casi richiedono due decisioni, con l'una che porta all'altra (decisione sull'innovazione contingente) (Rogers, 1983). Questo può costringere o permettere ai potenziali adottanti di prendere la decisione sull'innovazione.

3.4.2 Le fasi del processo diffusione dell'innovazione

Rogers (2003) ha descritto il processo di decisione sull'adozione dell'innovazione come "un processo di ricerca di informazioni e di attività di elaborazione delle informazioni, in cui un individuo è motivato a ridurre l'incertezza sui vantaggi e gli svantaggi di un'innovazione" (p. 172). Per Rogers (2003), il processo di decisione dell'innovazione prevede cinque fasi:

- (1) Conoscenza
- (2) Persuasione
- (3) Decisione
- (4) Attuazione
- (5) Conferma

Queste fasi si susseguono tipicamente in un modo ordinato nel tempo. Questo processo è mostrato in Figura 13.

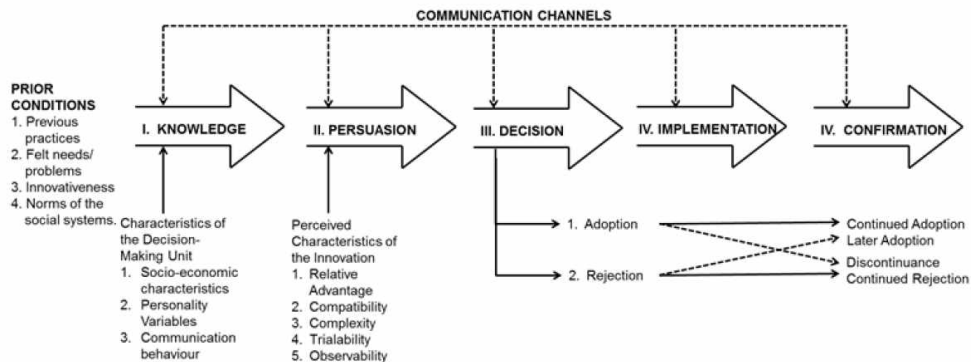


Figura 13- Diagramma delle fasi nel processo di diffusione delle innovazioni (Rogers,1983)

LA FASE DELLA CONOSCENZA

Il processo di decisione dell'innovazione inizia con la fase della conoscenza. In questa fase, un individuo impara a conoscere l'esistenza dell'innovazione e cerca informazioni in merito alla stessa. "Cosa?", "come?" e "perché?" sono domande critiche tipiche nella fase di conoscenza. Durante questa fase,

l'individuo cerca di determinare "che cosa è l'innovazione, come e perché funziona" (Rogers, 2003, p. 21). Secondo Rogers, queste interrogazioni contribuiscono a definire tre livelli di conoscenza:

- I. **Consapevolezza.** Rappresenta la conoscenza dell'esistenza dell'innovazione. Questo tipo di conoscenza può motivare l'individuo ad apprendere di più sull'innovazione e, eventualmente, ad adottarla. Inoltre, può incoraggiare un individuo a perseguire gli altri due livelli di conoscenza.
- II. **Come si utilizza.** Questa fase di conoscenza contiene informazioni sul come utilizzare correttamente un'innovazione. Rogers vede questo livello di conoscenza come una variabile essenziale nel processo di decisione dell'innovazione. Per aumentare la possibilità di adozione di un'innovazione, un individuo dovrebbe avere un livello di conoscenza sufficiente prima della prova di questa innovazione.
- III. **Principi.** L'ultimo tipo di conoscenza è la conoscenza dei principi. Questa conoscenza include i principi di funzionamento che descrivono come e perché funziona un'innovazione. Un'innovazione può essere adottata senza questa conoscenza, ma l'uso improprio dell'innovazione può causarne l'interruzione. Ad esempio, per Sprague et al. (1999), la più grande barriera all'uso della tecnologia da parte dei docenti nell'insegnamento è stata la mancanza di una visione del perché o di come integrare la tecnologia in classe.

Comunque, un individuo può avere tutte le conoscenze necessarie, ma questo non significa che l'individuo adotterà l'innovazione, perché anche gli atteggiamenti dell'individuo modellano l'esperienza, l'adozione o il rifiuto dell'innovazione (SAHIN, 2006).

LA FASE DI PERSUASIONE

Il processo di persuasione avviene quando l'individuo ha un atteggiamento negativo o positivo nei confronti dell'innovazione, ma "la formazione di un atteggiamento favorevole o sfavorevole nei confronti di un'innovazione non sempre porta direttamente o indirettamente a un'adozione o a un rifiuto" (Rogers, 2003, p. 176). L'individuo modella il suo atteggiamento dopo aver conosciuto l'innovazione, quindi la fase di persuasione segue la fase di conoscenza nel processo di decisione dell'innovazione. Inoltre, Rogers afferma che mentre lo stadio della conoscenza è più centrato sulla conoscenza, lo stadio della persuasione è più centrato sull'affettività (o sul sentimento). Così, l'individuo è chiamato a partecipare in modo più sensibile alla fase di persuasione dell'innovazione. Il grado di incertezza sul funzionamento dell'innovazione e il rafforzamento sociale da parte di altri (colleghi, pari, ecc.) influenza le opinioni e le convinzioni dell'individuo sull'innovazione. Le valutazioni soggettive dei compagni sull'innovazione che riducono l'incertezza sui risultati dell'innovazione sono di solito più credibili per l'individuo rispetto alle informazioni messe a disposizione da esperti esterni che forniscono delle valutazioni scientifiche.

Siccome per Rogers (2003) il processo di diffusione-innovazione consiste anche in "un processo di riduzione dell'incertezza" (p. 232), egli ha proposto una serie di caratteristiche delle innovazioni che aiutano a diminuire l'incertezza sull'innovazione. Tali caratteristiche influenzano quindi il decisore soprattutto in questa fase persuasiva.

Gli attributi delle innovazioni includono cinque caratteristiche delle innovazioni: (1) vantaggio relativo, (2) compatibilità, (3) complessità, (4) sperimentabilità e (5) osservabilità. Rogers (2003) ha affermato che "la percezione che gli individui hanno di queste caratteristiche permette di prevedere il tasso di adozione delle innovazioni" (p. 219). Inoltre, Rogers ha notato che, sebbene ci siano molti studi divulgati sulle caratteristiche delle categorie di adottanti, manca una ricerca sugli effetti della percezione delle caratteristiche delle innovazioni sul tasso di adozione.

Rogers (2003) ha definito il tasso di adozione come "la velocità relativa con cui un'innovazione viene adottata da membri di un sistema sociale" (p. 221). Ad esempio, il numero di individui che hanno adottato l'innovazione per un periodo di tempo può essere misurato come il tasso di adozione dell'innovazione. Gli attributi percepiti di un'innovazione sono un importante fattore di previsione del tasso di adozione. Rogers ha riferito che il 49-87% della varianza nel tasso di adozione delle innovazioni si spiega con le seguenti cinque caratteristiche. Oltre a questi attributi, il tipo di decisione sull'innovazione (facoltativa, collettiva o di autorità), i canali di comunicazione (mass media o canali interpersonali), il sistema sociale (norme o interconnessione di rete) e gli agenti di cambiamento possono aumentare la prevedibilità del tasso di adozione delle innovazioni. Ad esempio, le innovazioni personali e facoltative di solito sono adottate più

rapidamente delle innovazioni che comportano una decisione di innovazione organizzativa o collettiva. Tuttavia, Per Rogers, il vantaggio relativo è il più forte predittore del tasso di adozione di un'innovazione.

Dunque, l'atteggiamento che l'utente, in questa fase, forma nei confronti dell'innovazione dipende da 5 potenziali caratteristiche dell'innovazione, che sono antecedenti a qualsiasi adozione (Rogers, 1995, pp. 212-251):

- 1) **Vantaggi relativi.** Rogers (2003) ha definito il vantaggio relativo (**RA**, Relative Advantage) come "il grado in cui un'innovazione è percepita come migliore dell'idea che sostituisce" (p. 229). Le persone adottano delle innovazioni quando ritengono che le stesse siano più utili delle soluzioni precedenti, perché, ad esempio, aumentano l'efficienza e l'efficacia (Lin & Chen, 2012). I consumatori determinano la valutazione complessiva dei vantaggi relativi di un'innovazione confrontandola con le soluzioni che hanno usato in passato. Inoltre, Rogers ha classificato le innovazioni in due tipi: preventive e incrementali (non preventive). "Un'innovazione preventiva è una nuova idea che un individuo adotta ora per abbassare la probabilità di qualche evento futuro indesiderato" (Rogers, 2003, p. 233). Le innovazioni preventive hanno di solito un ritmo di adozione lento, per cui il loro vantaggio relativo è altamente incerto. Per contro, le innovazioni incrementali forniscono risultati positivi in un breve periodo.

Per aumentare il tasso di adozione delle innovazioni e per rendere più efficace il vantaggio relativo, diretto o indiretto possono essere utilizzati incentivi finanziari per sostenere gli individui di un sistema sociale nell'adozione di un'innovazione. Gli incentivi fanno parte dei fattori di sostegno e di motivazione.

- 2) **Complessità.** Rogers (2003) ha definito la complessità come "il grado in cui un'innovazione è percepita come relativamente difficile da comprendere e utilizzare" (Rogers & Shoemaker, 1983). Come ha affermato Rogers, a differenza degli altri attributi, la complessità è negativamente correlata al tasso di adozione. Quindi, l'eccessiva complessità di un'innovazione è un ostacolo importante nella sua adozione. La complessità può portare gli utenti a fraintendere la funzione della tecnologia (Holak & Lehmann, 1990).
- 3) **Compatibilità.** In alcune ricerche di diffusione, il vantaggio relativo e la compatibilità sono stati considerati equivalenti, anche se sono concettualmente differenti. Questa caratteristica si riferisce al grado in cui un'innovazione è percepito come coerente con i valori e le credenze esistenti degli utenti, con le loro abitudini e con le esperienze presenti e precedenti (Rogers, 1995). In letteratura, diversi studi hanno rilevato che vi è una relazione positiva tra la compatibilità e il rapporto di adozione di nuove tecnologie dell'informazione (Agarwal & Prasad, 1999; Zhang, Guo, & Chen, 2008).

Rogers (2003) ha dichiarato che "la compatibilità è il grado in cui si percepisce un'innovazione come coerente con i valori esistenti, le esperienze passate e le esigenze dei potenziali adottanti" (p. 15).

Se un'innovazione è compatibile con le esigenze di un individuo, allora l'incertezza diminuirà e il tasso di adozione dell'innovazione aumenterà.

Anche il nome dell'innovazione contribuisce a determinarne la compatibilità, ragion per cui esso dovrebbe avere un significato per il potenziale adottante e dovrebbe rendere chiaro anche il ruolo dell'innovazione.

- 4) **Sperimentabilità o tracciabilità.** Secondo Rogers (2003), "la sperimentabilità è il grado in cui un'innovazione può essere sperimentata su una base limitata" (pag. 16). Inoltre, la sperimentabilità è positivamente correlata al tasso di adozione. Più è un'innovazione è provata, più veloce è la sua adozione. Come si vedrà, nella fase di attuazione del processo di decisione, la reinvenzione può avvenire durante la sperimentazione dell'innovazione. In seguito, l'innovazione può essere cambiata o modificata dal potenziale adottante. Un maggiore grado di reinvenzione può favorire un'adozione più rapida dell'innovazione.

- 5) **Osservabilità.** Rogers (2003) ha definito l'osservabilità come "il grado in cui i risultati di un'innovazione sono visibili agli altri" (p. 16). L'osservazione tra pari è il fattore motivazionale chiave nell'adozione e nella diffusione della tecnologia (Parisot, 1997). Park e Chen (2007) hanno dimostrato che l'osservabilità influenza positivamente l'atteggiamento degli utenti.

LA FASE DI DECISIONE

Nella fase decisionale del processo di decisione dell'innovazione, l'individuo sceglie di adottare o rifiutare l'innovazione.

Mentre l'adozione si riferisce al "pieno utilizzo di un'innovazione in quanto migliore linea d'azione disponibile", il rifiuto significa "non adottare un'innovazione" (Rogers, 2003, p. 177). Se un'innovazione ha una base di sperimentazione parziale, di solito viene adottata più rapidamente, poiché la maggior parte degli individui vuole prima provare l'innovazione nella propria situazione e poi giungere a una decisione di adozione. La prova temporanea può accelerare il processo di decisione dell'innovazione. Tuttavia, il rifiuto è possibile in ogni fase del processo di decisione sull'innovazione. Rogers ha espresso due tipi di rifiuto: il rifiuto attivo e il rifiuto passivo. In una situazione di rifiuto attivo, un individuo prova un'innovazione e pensa di adottarla, ma poi decide di non adottarla. Una decisione di interruzione, che consiste nel rifiutare un'innovazione dopo averla adottata in precedenza, può essere considerata come un tipo di rifiuto attivo. In una posizione di rifiuto passivo (o di non adozione), l'individuo non pensa affatto di adottare l'innovazione. Rogers ha dichiarato che questi due tipi di rifiuto non sono stati distinti e studiati a sufficienza nelle ricerche di diffusione del passato. In alcuni casi, l'ordine delle fasi di conoscenza-persuasione-decisione viene invertita da conoscenza-decisione-persuasione. Soprattutto nelle culture socialiste come quelle dei paesi dell'Est, si verifica questo ordine e l'influenza di gruppo sull'adozione di un'innovazione può trasformare la decisione personale sull'innovazione in una decisione collettiva sull'innovazione (Rogers, 2003).

In ogni caso, però, la fase di implementazione segue la fase di decisione.

LA FASE DI IMPLEMENTAZIONE

Nella fase di implementazione (o di attuazione) viene messa in pratica un'innovazione. Tuttavia, l'incertezza sugli esiti della l'innovazione può ancora essere un problema in questa fase. Pertanto, l'esecutore può avere bisogno di assistenza tecnica dagli agenti di cambio e da altri per ridurre il grado di incertezza sulle conseguenze. Inoltre, il processo di decisione sull'innovazione-si concluderà, a partire da quando "l'innovazione perde la sua qualità distintiva come identità separata della nuova idea" (Rogers, 2003, p. 180).

La reinvenzione avviene di solito nella fase di implementazione, quindi è una parte importante di questa fase. La reinvenzione è "il grado in cui un'innovazione viene cambiata o modificata da un utente nel processo di adozione e implementazione" (Rogers, 2003, p. 180). Inoltre, Rogers (2003) ha spiegato la differenza tra invenzione e innovazione. Mentre "l'invenzione è il processo attraverso il quale si scopre o si crea una nuova idea", l'adozione di un'innovazione è il processo di utilizzo di un'idea esistente" (Rogers, 2003, p. 181). Rogers ha inoltre affermato che il più si reinventa, più rapidamente si adotta un'innovazione e si istituzionalizza. Come innovazioni, i computer sono gli strumenti che consistono di molte possibili opportunità e applicazioni, quindi computer le tecnologie sono più aperte alla reinvenzione.

LA FASE DELLA CONFERMA

La decisione sull'innovazione è già stata presa, ma in fase di conferma il singolo cerca un supporto per la sua decisione. Secondo Rogers (2003), questa decisione può essere invertita se l'individuo è "esposto a messaggi contrastanti sull'innovazione" (p. 189). Tuttavia, l'individuo tende a stare lontano da questi messaggi e cerca messaggi di sostegno che confermino la sua decisione. Così, gli atteggiamenti diventano più cruciali nella fase di conferma. A seconda del sostegno all'adozione dell'innovazione e dell'atteggiamento dell'individuo, l'adozione successiva o l'interruzione avviene in questa fase.

L'interruzione può avvenire in questa fase in due modi. In primo luogo, l'individuo rifiuta l'innovazione per adottare una migliore innovazione che la sostituisca. Questo tipo di decisione di cessazione si chiama cessazione sostitutiva. L'altro tipo di decisione di interruzione è la cessazione per disincanto. In quest'ultimo caso, l'individuo rifiuta l'innovazione perché non è soddisfatto delle sue prestazioni, o perché essa non soddisfa le esigenze dell'individuo e quindi non fornisce una percezione vantaggio relativo, che è il primo attributo delle innovazioni che influisce sul tasso di adozione.

3.4.3 Categorie di adottanti

Cinque categorie di adottanti sono identificate in base al tempo misurato dal momento dell'acquisizione della conoscenza dell'innovazione fino al momento della decisione di adottare effettivamente il nuovo comportamento.

Questa classificazione include gli innovatori, gli adottanti precoci, la maggioranza precoce, la maggioranza tardiva e i ritardatari. In ogni categoria di adottanti, gli individui sono simili in termini di innovatività: "La capacità di innovazione è il grado in cui un individuo o un'altra unità di adozione è relativamente più precoce nell'adottare nuove idee rispetto ad altri membri di un sistema" (Rogers, 2003, p. 22). Braak (2001) ha descritto l'innovatività come "una caratteristica socialmente costruita, relativamente stabile, dipendente dall'innovazione, che indica la volontà di un individuo di cambiare la sua o le sue pratiche familiari" (p. 144). Per Rogers, la capacità di innovazione ha aiutato a comprendere il desiderato e il principale comportamento nel processo di decisione dell'innovazione. Così, egli classifica gli adottanti in base alla capacità di innovazione. Come mostra la figura 14 la distribuzione degli adottanti è una distribuzione normale. Inoltre, Rogers (2003) ha osservato che l'adozione incompleta e la non adozione non rientrano in questa classificazione degli adottanti. Solo gli adottanti di innovazioni di successo generano questa curva nel tempo. In questa distribuzione normale, ogni categoria è definita utilizzando una percentuale standardizzata di intervistati. Ad esempio, l'area che si trova sotto il lato sinistro della curva e due deviazioni standard al di sotto della media include gli innovatori che adottano un'innovazione come primo 2,5% degli individui in un sistema.

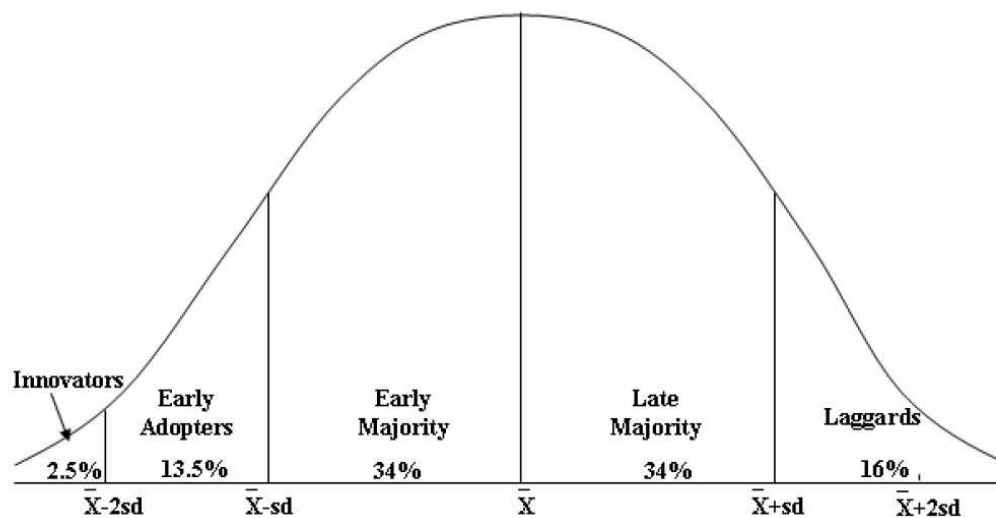


Figura 14- Categorizzazione dell'adottante sulla base dell'innovatività (Fonte: SAHIN, 2006. Estratto da Diffusion of Innovations, fifth edition by Everett M. Rogers. Copyright (c) 2003 by The Free Press).

Passando ad esaminare singolarmente le categorie individuate, abbiamo:

- 1) **Innovatori o Innovators.** Per Rogers (2003), gli innovatori erano disposti a sperimentare nuove idee. Così, essi dovrebbero essere preparati ad affrontare innovazioni non redditizie e non riuscite, e ad un certo livello di incertezza sull'innovazione. Inoltre, Rogers ha aggiunto che gli innovatori sono i portavoce dell'innovazione che portano l'innovazione dall'esterno del sistema.

Essi non possono essere rispettati dagli altri membri del sistema sociale per la loro intraprendenza e le loro strette relazioni al di fuori del sistema sociale. La loro intraprendenza richiede agli innovatori conoscenze tecniche complesse.

- 2) **Primi utilizzatori o Early Adopters.** Rispetto agli innovatori, i primi utilizzatori sono più limitati con i confini del sistema sociale. Rogers (2003) ha sostenuto che, poiché i primi utilizzatori hanno maggiori probabilità di ricoprire ruoli di leadership nel sistema sociale, gli altri membri si rivolgono a loro per ottenere consigli o informazioni sull'innovazione. Infatti, "i leader giocano un ruolo centrale a ogni fase del processo di innovazione, dall'avvio alla sua implementazione, in particolare nell'impiego delle risorse che portano avanti l'innovazione" (Light, 1998, p. 19). Così, in quanto modelli, le attitudini dei primi utilizzatori verso le innovazioni assumono maggiore importanza. Le loro valutazioni soggettive sull'innovazione raggiungono altri membri del sistema sociale attraverso le reti interpersonali. La leadership dei primi ad adottare l'innovazione riduce l'incertezza sull'innovazione nel processo di diffusione. Infine, "i primi utilizzatori mettono il loro timbro d'approvazione di una nuova idea adottandola" (Rogers, 2003, p. 283).
- 3) **Maggioranza precoce o Early Majority.** Rogers (2003) ha sostenuto che, sebbene la prima maggioranza abbia una buona interazione con gli altri membri del sistema sociale, essa non ha il ruolo di leadership che hanno i primi utilizzatori. Tuttavia, le loro reti interpersonali sono ancora importanti nel processo di diffusione dell'innovazione. Come mostra la Figura 12, la prima maggioranza adotta l'innovazione poco prima che l'altra metà dei loro coetanei lo adotti. Come ha dichiarato Rogers, sono intenzionati ad adottare un'innovazione e non sono né i primi né gli ultimi ad adottarla. Quindi, la loro decisione circa l'adozione dell'innovazione di solito richiede più tempo di quanto ci voglia per gli innovatori e per primi utilizzatori.
- 4) **Maggioranza tardiva o Late Majority.** Come la maggioranza precoce, la maggioranza tardiva comprende un terzo di tutti i membri del sistema sociale che attendono che la maggior parte dei loro simili adotti l'innovazione. Sebbene siano scettici sull'innovazione e sui suoi risultati, la necessità economica e la pressione dei coetanei può portarli ad adottare l'innovazione. Per ridurre l'incertezza dell'innovazione, le reti interpersonali di coetanei dovrebbero persuadere la tarda maggioranza ad adottarla. Solo dopo questa persuasione, "la tarda maggioranza ritiene che sia sicuro adottare" (Rogers, 2003, p. 284).
- 5) **Ritardatari o Laggards.** Come ha affermato Rogers (2003), i ritardatari hanno una visione tradizionalista e sono più scettici sulle innovazioni e sul cambiamento rispetto alla tarda maggioranza. In quanto gruppo più localizzato del sistema sociale, le loro relazioni interpersonali sono costituite principalmente da altri membri del sistema sociale della stessa categoria. Inoltre, non hanno un ruolo di leadership. A causa delle risorse limitate e della mancanza di consapevolezza delle innovazioni, vogliono assicurarsi che un'innovazione funzioni prima di adottarla. Così, i ritardatari tendono a decidere dopo, esaminando se l'innovazione è stata adottata con successo da altri membri del sistema sociale in passato. Per tali motivi, il periodo di decisione dell'innovazione dei ritardatari è relativamente lungo.

Oltre a queste cinque categorie di adottanti, Rogers (2003) ha accorpato le stesse in due gruppi principali: gli adottanti primari (earlier adopters) e gli adottanti successivi (later adopters). Gli adottanti primari sono costituiti da innovatori, adottanti precoci e maggioranza precoce, mentre la maggioranza tardiva e i ritardatari formano gli adottanti successivi. Rogers identifica le differenze tra questi due gruppi in termini di status socioeconomico, variabili di personalità e comportamenti comunicativi, che di solito sono positivamente correlati alla capacità di innovazione. Per esempio, "gli individui o altre unità di un sistema che più hanno bisogno dei benefici di una nuova idea (i meno istruiti, i meno ricchi e simili) sono generalmente gli ultimi a adottare un'innovazione" (Rogers, 2003, p. 295). Per Rogers non c'era una differenza significativa tra le età degli adottanti primari e degli adottanti successivi. Con riferimento agli "Earlier adopters", ovvero gli adottanti precoci elenca sei generalizzazioni associate alla variabile dello status socioeconomico (2003, pp. 251-252)

- a. hanno un'età non molto differente da quelli che adottano l'innovazione successivamente
- b. hanno più anni di istruzione rispetto a quelli che adottano l'innovazione successivamente
- c. hanno più probabilità di essere istruiti rispetto a quelli che adottano l'innovazione successivamente
- d. hanno uno status sociale più elevato rispetto a quelli che adottano l'innovazione successivamente
- e. hanno un maggior grado di mobilità sociale verso l'alto rispetto a quelli che adottano l'innovazione successivamente
- f. hanno unità di dimensioni maggiori (aziende agricole, scuole, aziende, ecc.) rispetto a quelli che adottano l'innovazione successivamente

Nel settore dei trasporti, la teoria della diffusione dell'innovazione è stata adottata da Heyman et al. (2017) per effettuare una previsione spaziale del carico di ricarica dei veicoli elettrici; inoltre essa è stata utilizzata congiuntamente ad altre teorie e per questo motivo alcune applicazioni saranno menzionate in seguito, dopo aver introdotto le altre teorie con cui la DOI è stata combinata negli studi.

3.5 TRANSTHEORETICAL MODEL, TTM

Il modello Transteorico appartiene alla categoria delle teorie comportamentali a fasi (precontemplazione, contemplazione, preparazione, azione e mantenimento) e l'individuazione della fase in cui il soggetto si trova viene spesso effettuata tenendo in considerazione l'intenzione di modificare il comportamento nel periodo di tempo dei 6 mesi successivi al momento della valutazione.

Tale modello, introdotto da Prochaska e DiClemente nel 1983 segue l'approccio della "Social Cognition". Tale approccio sostiene che gli individui, attraverso l'apprendimento sociale, sviluppano rappresentazioni mentali o cognitive (immagini, idee) della realtà, in grado di influenzare direttamente il comportamento. L'idea è quella di un essere umano che elabora razionalmente le informazioni, calibra costi e benefici e decide come agire.

Il modello Transteorico si propone di essere un modello esplicativo completo e multilivello in quanto tiene conto degli aspetti temporali e dinamici del cambiamento. L'originalità del modello consiste appunto nel non considerare i precursori (gli antecedenti del cambiamento) ma solo il suo divenire nel tempo. Infatti tale modello definisce il cambiamento comportamentale come un processo dinamico che avviene secondo una sequenza ciclica, dove il progresso da una fase all'altra è guidato da 10 processi specifici.

Gli assunti di base del Modello Transteorico sono i seguenti:

- non è sufficiente una singola teoria per spiegare la complessità del processo di cambiamento. Un modello adeguato può nascere solo dall'integrazione tra le principali teorizzazioni in ambito psicologico;
- il cambiamento comportamentale è un processo che si articola nel tempo attraverso una sequenza di stadi;
- gli stadi sono stabili e aperti, come i fattori di rischio comportamentale sono stabili e nello stesso tempo aperti al cambiamento;
- la maggior parte dei soggetti appartenenti ad una determinata popolazione a rischio non sono pronti per una fase di determinazione o di azione verso il cambiamento e per questo motivo i tradizionali programmi preventivi orientati all'azione risultano inefficaci;
- per ogni stadio di propensione al cambiamento vanno applicati specifici processi e specifici principi di modificazione comportamentale.

Il Modello Transteorico è costruito su tre dimensioni fondamentali: gli stadi del cambiamento, i processi del cambiamento (ovvero le strategie comportamentali messe in atto dal soggetto durante il cambiamento), i fattori psicologici che determinano il movimento da uno stadio a quello successivo (Self-efficacy, Locus of Control e Bilancia decisionale). In realtà la bilancia decisionale è una tecnica che favorisce l'emergere della consapevolezza ed attiva i processi di cambiamento, non è un aspetto psicologico anche se gli autori del modello lo descrivono come tale.

3.5.1 Gli stadi del cambiamento

Gli stadi del cambiamento rappresentano sia il periodo sia la descrizione delle caratteristiche comportamentali del soggetto.

L'individuazione della fase in cui il soggetto si trova viene effettuata tenendo in considerazione l'intenzione di modificare il comportamento nel periodo di tempo dei 6 mesi successivi al momento della valutazione ("pensa che nei prossimi sei mesi..."). Esistono diversi strumenti per la valutazione dello stadio in cui un individuo si trova in un determinato momento della sua vita, rispetto ad un determinato comportamento; tra questi strumenti abbiamo apposite scale, questionari, algoritmi, a cui si associano altri strumenti che valutano fattori correlati (Bamberg et al., 2011; Forward 2014; Redding et al., 2015). È chiaro che tali strumenti non sono utilizzabili sempre e in qualsiasi circostanza, ma bisogna individuare quelli più adatti per quel tipo di persona, per quel tipo di situazione, ecc.

Gli stadi del cambiamento sono:

- 1) **Precontemplazione:** il soggetto in questa fase non ha ancora preso in considerazione l'ipotesi di modificare il proprio comportamento (intenzione relativa ai 6 mesi successivi alla valutazione). Il soggetto è non informato o mal informato rispetto al comportamento a rischio, oppure può aver fatto dei tentativi di cambiamento ed essere demoralizzato e aver perso fiducia nella propria concreta capacità di cambiare. Di solito i soggetti in questa fase evitano di leggere, parlare o pensare al comportamento a rischio. Sono i cosiddetti soggetti non motivati o resistenti al cambiamento. Gli ultimi studi su questo primo stadio fanno propendere per l'ipotesi dell'esistenza di più livelli all'interno dello stadio stesso (pre-pre-pre-contemplazione, pre-pre-contemplazione, ecc.), ma ciò è ancora oggetto di studio.
- 2) **Contemplazione:** il soggetto comincia a prendere in considerazione l'ipotesi di modificare il proprio comportamento; l'idea è che per passare dallo stadio di precontemplazione allo stadio di contemplazione ci debba essere, per il soggetto, una preoccupazione "almeno" sufficiente. In questa fase, il soggetto è consapevole dei pro e dei contro del cambiamento e questo può causare una situazione di forte ambivalenza che lo può far rimanere in questa fase anche per lunghi periodi di tempo ("contemplazione cronica" o procrastinazione).
- 3) **Determinazione:** il soggetto ha deciso di modificare il comportamento nell'immediato futuro (nel mese successivo) e pianifica la modalità di cambiamento. Se il passaggio in questo stadio avviene a seguito di una decisione "forte" presa al termine della fase di Contemplazione, è meno alto il rischio di ripensamenti durante la fase di Azione. DiClemente parla di "teachable moments", ovvero di eventi importanti come transizioni nel ciclo di vita che possono spingere/motivare un cambiamento (es. gravidanza, parto, ecc.) e che possono essere opportunamente "sfruttati".
- 4) **Azione:** il soggetto agisce per modificare il proprio comportamento. L'azione non è sempre una modificazione diretta del comportamento ma tutto quell'insieme di attività che vengono messe in atto nel tentativo di modificare un comportamento (atti singoli ed episodici, azioni ricorrenti, strategie semplici e complesse). Per considerare un comportamento come una effettiva azione di cambiamento occorre che tale comportamento riduca in qualche modo il rischio di malattia (ad esempio l'astinenza dal fumo). Attenzione però, se il bilancio non è abbastanza forte (o saldo), la fase di Azione dura poco, e si ritorna alla fase di Contemplazione. Quindi, gli insuccessi, i tentativi fallimentari, le azioni non andate a buon fine, devono essere presi in considerazione dall'operatore ed enfatizzati come opportunità di ulteriore apprendimento, non come ricadute o evidenze di sconfitta.
- 5) **Mantenimento:** in questa fase il soggetto si applica al mantenimento nel tempo e alla stabilizzazione del cambiamento. Chiaramente in questa fase le azioni sono ridotte, il soggetto non è impegnato attivamente come nella fase di azione. Questa fase ha una durata estremamente variabile in relazione al comportamento e alle caratteristiche individuali.

Il tempo di permanenza individuale in ogni stadio è variabile, mentre i compiti da eseguire per passare allo stadio seguente sono uguali per tutti (ad esempio, per passare dalla Precontemplazione alla

Contemplazione occorre diventare consapevoli del problema, iniziare a considerarne gli aspetti negativi e affrontare gli aspetti difensivi e abitudinari che ne rendono difficile il controllo).

I compiti consistono in:

- accrescimento/aumento dell'interesse e della preoccupazione rispetto al comportamento da modificare;
- l'aumento di informazione sulle conseguenze nocive e le possibili alternative a quel comportamento (attraverso la valutazione di pro e contro);
- la presa di coscienza sul comportamento in atto e sui motivi che lo sostengono (la riflessione su di sé);
- analisi di rischi e ricompense, e la successiva presa di decisione;
- la nascita/mantenimento dell'impegno e la successiva creazione del piano efficace/accettabile.

Essi richiedono abilità di auto-regolazione (sinonimo di auto-controllo sul piano cognitivo ed affettivo/emotivo), necessaria per cambiare il modo di pensare/agire, inibire le pulsioni, seguire le regole, dilazionare i piaceri. L'auto-regolazione ha bisogno di esercizio/ allenamento costante, ed è una forza necessaria per promuovere/spingere i processi di cambiamento.

I compiti (tasks) sono considerati da DiClemente più importanti degli stadi stessi, in quanto messi insieme forniscono la base per la motivazione al cambiamento del soggetto.

3.5.2 I processi di cambiamento

I processi sono meccanismi personali che permettono all'individuo di progredire da uno stadio ad un altro e, quindi, di cambiare (cambiare modo di pensare, di sentire e di agire riguardo a un proprio comportamento inadeguato).

Prochaska e DiClemente hanno identificato 10 principali processi (di cui 7 indipendenti tra loro): 5 di ordine cognitivo esperienziale e 5 di ordine comportamentale.

I primi due stadi richiedono processi di tipo cognitivo-esperienziale (il modo in cui l'individuo pensa), gli stadi successivi, invece, processi di tipo comportamentale (il modo in cui l'individuo agisce)

Processi di ordine cognitivo esperienziale.

Solo l'attivazione dei processi cognitivi-esperienziali (legati all'aumento di consapevolezza e alla spinta motivazionale) fa sì che abbiano successo le parole e gli sforzi dell'operatore con cui l'individuo sta intraprendendo un percorso di cambiamento, e gli consentono perciò di progredire.

I 5 processi di ordine cognitivo esperienziale comprendono:

- 1) **Aumento della consapevolezza** riguardo il problema ed i benefici di un eventuale cambiamento. Tra le procedure che possono favorire un aumento della consapevolezza risultano importanti le informazioni fornite dagli operatori (previa indagine con domande volte a capire se la persona sta davvero ricercando informazioni) o da altre persone significative, il confronto con le opinioni di altri sull'argomento, la lettura di materiale specifico e le campagne dei mass media.
- 2) **Attivazione emotiva**: sperimentare ed analizzare le reazioni emotive a tali informazioni e in generale sullo status quo o sull'eventuale cambiamento. Le tecniche che possono aiutare l'attivazione emozionale sono la partecipazione a giochi di ruolo, a sedute di psicodramma (secondo i quali tutto deve essere sentito/ sperimentato a livello di "pancia"), l'ascolto di "testimoni" (es. le testimonianze dei familiari delle vittime della strada), la riflessione su campagne proposte dei mass media.
- 3) **Auto-rivalutazione**: considerare come e quanto lo status quo e il cambiamento sono in accordo o in contrasto con i valori personali. Tale valutazione personale comprende sia l'ambito cognitivo che quello affettivo in relazione ad un determinato comportamento. Tecniche utili per favorire tale processo sono la chiarificazione e l'esplicitazione dei valori individuali, l'analisi del ruolo svolto da modelli significativi per il soggetto e tecniche immaginative che facilitino la valutazione personale.

- 4) **Rivalutazione ambientale:** riconoscere e valutare gli effetti che lo status quo e il cambiamento hanno sull'ambiente e sulle persone (valutazione sia cognitiva che affettiva), comprende anche l'acquisizione di consapevolezza circa il proprio ruolo di modello per gli altri. Per favorire la rivalutazione ambientale è utile agevolare, nel soggetto, l'esplicitazione dei propri valori personali e quelli dell'ambiente di riferimento, mettendo in luce eventuali discrepanze e analizzando come il cambiamento potrebbe modificare i rapporti del soggetto con il proprio ambiente ("cosa penserebbero di te i tuoi figli se incominciassi a fare dell'attività fisica? Cosa penserebbe tua moglie?... ed i tuoi amici?").
- 5) **Liberazione sociale:** analizzare con il soggetto ed incrementare le occasioni e le norme sociali che possono supportare il cambiamento. Per promuovere questo processo può essere utile partecipare a testimonianze pubbliche (ad esempio sul modello degli Alcolisti Anonimi), favorire nel soggetto l'adozione di scelte sociali piuttosto che singole, al fine di favorire lo spirito di gruppo (ad esempio partecipare a situazioni sociali che favoriscano il cambiamento; nel caso del fumo può essere utile partecipare a situazioni dove vige il divieto di fumare, oppure per chi inizia a fare attività fisica partecipare agli avvenimenti sociali legati allo sport quali maratone, gare amatoriali, ecc).

Processi di ordine comportamentale

Di seguito si descrivono i 5 processi di ordine comportamentale.

- 1) **Auto-liberazione:** accettare la responsabilità e impegnarsi in un cambiamento comportamentale attraverso una comunicazione pubblica (che arriva successivamente all'aver detto a sé stessi "Ce la posso fare!"). Tecniche utili possono essere le dichiarazioni pubbliche (sullo stile degli Alcolisti Anonimi) o con persone consapevoli del proprio intento e del proprio impegno per il cambiamento ("language commitment").
- 2) **Controllo dello stimolo:** creare, alterare, evitare stimoli che scatenano o incoraggiano il comportamento da modificare. Tra le tecniche che favoriscono il controllo dello stimolo vi sono l'evitamento dei luoghi e delle situazioni critiche che innescano il comportamento da modificare (ad esempio bere meno caffè per evitare l'associazione caffè-sigaretta oppure se l'obiettivo è la riduzione del sovrappeso evitare di aprire il frigorifero quando non è strettamente necessario), tecniche di modificazione ambientale (togliere da casa tutto quello che può ricordare le sigarette, o evitare di tenere in casa i cibi sconsigliati), partecipazione a gruppi di auto aiuto (per individuare strategie comportamentali che sono state utili ad altri soggetti con lo stesso problema).
- 3) **Contro-condizionamento:** cercare una risposta diversa allo stimolo "scatenante", cioè sostituire i comportamenti da modificare con "nuovi" comportamenti ed attività che entrano in competizione coi "vecchi" ("dopo il caffè al posto della sigaretta vado a fare una passeggiata", oppure "al posto della sigaretta mi gratifico con un cioccolatino, poi in seguito con qualcosa di meno dannoso ancora"). Tre le tecniche che favoriscono questo processo abbiamo il rilassamento per imparare a gestire le proprie emozioni, il training assertivo per meglio gestire l'ansia legata alle situazioni sociali che sono connesse, ad esempio, all'accensione della sigaretta, uso di sostituti nicotinici o di cibi a basso contenuto calorico.
- 4) **Gestione del rinforzo:** gratificarsi con un rinforzo positivo dopo aver attuato i nuovi comportamenti salutari, quindi cercare "nuovi" rinforzi che sostituiscano i "vecchi", sennò si rimane in un certo senso "vuoti" e si rischia di ricadere. Tra le tecniche di applicazione di questo processo comportamentale abbiamo l'organizzazione del rinforzo, ad esempio pianificare una serie di attività piacevoli da svolgere al termine di ogni giornata in cui ho mangiato in maniera sana, al termine di ogni settimana, ecc. Chiaramente la programmazione dei rinforzi è molto individuale e deve essere accuratamente pianificata con il soggetto in quanto la scelta di un

rinforzo non significativo per il soggetto rischia di vanificare il risultato dell'azione di cambiamento.

- 5) **Relazioni d'aiuto:** saper cercare e ricevere supporto da altri per cambiare il comportamento. In questo caso è fondamentale richiedere e saper accettare l'aiuto offerto da altri per attuare e mantenere il cambiamento. Ad esempio chiedere ai familiari di modificare le abitudini alimentari della famiglia per agevolare il cambiamento del soggetto che ha problemi di peso, cercare un amico per svolgere insieme dell'attività fisica.

3.5.3 I fattori psicologici

La terza dimensione del modello è rappresentata dai fattori psicologici che, come già accennato, determinano il movimento da uno stadio a quello successivo. Vengono quindi esaminati i tre fattori psicologici previsti dal modello.

Per **Self-efficacy** (Autoefficacia, Bandura 1977, 1991, 1995) si intende la fiducia nelle proprie capacità di organizzare e realizzare il corso di azioni necessario per raggiungere i risultati prefissati. La Self-efficacy rende un individuo in grado di prendere in esame la possibilità di modificare il proprio comportamento e mantenere alta la motivazione al cambiamento e al suo mantenimento. Nel processo di cambiamento la determinazione si avvale dell'abilità di autoregolazione che fornisce feedback continui sul livello di motivazione e sul comportamento (abilità che si può apprendere con specifici training). L'introduzione del concetto di Self-efficacy ha permesso di passare da programmi di promozione della salute di tipo meramente informativo a modelli formativi che oltre all'aspetto informativo comprendono lo sviluppo dell'abilità di autoregolazione, la costruzione del senso di Self-efficacy e la ricerca di sostegno sociale. Il concetto di Self-efficacy non deve essere confuso con quello di autostima; la Self-efficacy è relativa alla capacità di influenzare gli eventi per raggiungere un dato risultato ed è sempre in relazione ad un obiettivo, l'autostima, invece, è una valutazione più generale di sé e delle proprie caratteristiche, senza riferimento ad un risultato specifico. Il senso di Self-efficacy riguarda quindi giudizi di capacità personale, mentre l'autostima riguarda giudizi di valore personale.

Con l'espressione **Locus of Control**, luogo di controllo, (Rotter 1966) si intende la tendenza dell'individuo a percepire le situazioni come contingenti ai propri comportamenti (luogo di controllo interno) o determinate da forze esterne, quali il destino o l'azione di altre persone (luogo di controllo esterno). Nel campo della salute una persona con luogo di controllo interno ritiene che la propria salute sia dipendente dai propri comportamenti preventivi e salutari e quindi si sentirà direttamente responsabile, invece il soggetto con luogo di controllo esterno ritiene che la salute dipenda dal destino ("se una cosa deve succedere, succederà indipendentemente da ciò che io faccio") o da altri significativi ("se mi affido ad un bravo medico egli certamente mi salverà") e quindi sarà meno incline a prendersi cura attivamente del proprio stato di salute.

Bilancia decisionale. Come già detto precedentemente, questa è una tecnica di cambiamento e non un fattore psicologico, anche se in alcune pubblicazioni sul Modello Transteorico viene indicato come tale. La tecnica della bilancia decisionale consiste nella valutazione comparativa degli aspetti positivi e negativi di un particolare comportamento. Riflette il peso soggettivo dei pro e dei contro per il cambiamento. Il modello originale per il processo di "presa di decisioni" di Janis e Mann (1977), da cui deriva tale tecnica, include quattro categorie di pro (vantaggi pratici per sé, vantaggi pratici per gli altri, approvazione personale, approvazione degli altri) e quattro categorie per i contro (costi, svantaggi pratici per sé, svantaggi per gli altri, disapprovazione personale e disapprovazione degli altri).

Negli ultimi anni, il modello TTM ha iniziato a essere utilizzato nel settore dei trasporti, ma la maggior parte di questi studi si concentra sulla probabilità di adottare una particolare modalità di trasporto a seconda dello stadio di cambiamento in cui si trova l'utente. Per citare alcuni di questi studi, Biehl et al. (2019) hanno studiato l'adozione del bike sharing come un processo di cambiamento dinamico, dalla precontemplazione allo stato di utente consolidato. Questo studio esamina l'adozione del bike sharing combinando la teoria comportamentale basata sugli stadi con la modellazione delle scelte discrete. Più precisamente, per studiare il processo di adozione viene sviluppato un modello logit annidato a due livelli

che si ispira al quadro degli stadi del cambiamento proposto dal modello transteorico. Questa ricerca dimostra che la teoria degli stadi può essere utilizzata per studiare l'adozione del bike sharing attraverso un'attenta definizione dei livelli di appartenenza agli stadi.

In Redding et al. (2015) il modello transteorico (TTM) fornisce un quadro utile per esaminare come le persone progrediscono verso l'adozione del trasporto sostenibile, ST. In particolare, vengono prese in considerazione apposite misure per studiare i costrutti di equilibrio decisionale, autoefficacia e il dubbio sul cambiamento climatico e viene esaminata la loro relazione con gli stadi del cambiamento.

In Horiuchi et al. (2017) lo stesso argomento è stato analizzato nel tempo. Questo studio ha esaminato in modo prospettico i pro, i contro e l'autoefficacia per il ST come predittori delle transizioni di fase in un periodo di 6 mesi. I partecipanti hanno dapprima compilato un questionario sulla loro fase rispetto al trasporto sostenibile, sui pro, sui contro e sull'autoefficacia. Sei mesi dopo, i partecipanti hanno completato un altro questionario sul loro stadio del cambiamento. I dati sui partecipanti negli stadi pre-azione e post-azione sono stati combinati per prevedere transizioni in avanti e indietro. I maggiori vantaggi del ST e, inaspettatamente, la minore autoefficacia del ST hanno predetto le transizioni in avanti tra i partecipanti che non utilizzavano la ST. Al contrario, i minori pro e i maggiori contro della ST prevedevano transizioni all'indietro tra coloro che in fase iniziale utilizzavano la ST.

3.6 Technology Acceptance Model, TAM (e relative modifiche)

3.6.1 Technology Acceptance Model, TAM

Il modello di accettazione della tecnologia (TAM, dall'inglese *technology acceptance model*), descritto per la prima volta nella tesi di dottorato di Fred Davis nel 1985 è un adattamento della teoria delle azioni ragionare (TRA) di Fishbein e Ajzen, appositamente studiato per spiegare l'adozione di un sistema informatico da parte degli utenti.

L'obiettivo del TAM è quello di fornire una spiegazione dei fattori determinanti dell'accettazione dei sistemi informatici, in particolare dei computer, che sia generale ed in grado di spiegare il comportamento degli utenti attraverso un'ampia gamma di tecnologie informatiche per l'utente finale e per gruppi di utenti, pur essendo allo stesso tempo parsimoniosa e teoricamente giustificata. Idealmente lo scopo è quello di individuare un modello che sia utile non solo per la previsione ma anche per la spiegazione, in modo che i ricercatori e i professionisti possano identificare i motivi per cui un particolare sistema può essere inaccettabile e perseguire le opportune azioni correttive; il modello vuole quindi fornire una base per indicare l'impatto dei fattori esterni sulle credenze degli utenti, sulle loro attitudini ed intenzioni. Il TAM è stato formulato nel tentativo di raggiungere questi obiettivi identificando un piccolo numero di variabili fondamentali suggerite da precedenti ricerche che si occupano dei determinanti cognitivi ed affettivi dell'accettazione del computer, e utilizzando la TRA come sfondo teorico per modellare le relazioni teoriche tra queste variabili.

Nonostante sia nato per valutare l'accettazione di sistemi tecnologici, il TAM è stato ampiamente utilizzato ed ha trovato la sua applicazione in molteplici contesti che spaziano dalla possibilità di apprendimento online, all'accettazione dei social network o degli smartphone. Ad esempio, uno studio di Yang (2005) prova che il modello TAM può essere applicato al campo della telefonia mobile, fornendo una spiegazione sufficiente dell'adozione da parte dei consumatori intenzionati all'acquisto. Ugualmente, anche un altro studio sull'accettazione di servizi mobili avanzati (López-Nicolás, Molina-Castillo, & Bouwman, 2008) ha convalidato l'applicazione del TAM in questo settore. Ancora, Jansson, Marell, e Nordlund (2010) hanno esplorato i fattori relativi all'adozione (da parte dei consumatori) della tecnologia automobilistica ecologica con carburante alternativo, mentre in numerosi studi è stato applicato il TAM per comprendere e spiegare l'accettazione della tecnologia nei servizi di front-office degli alberghi (Lu et al., 2009), nelle intenzioni di prenotazione di viaggi online dei consumatori (Amaro e Duarte 2015) e nei sistemi informatici dei ristoranti (Ham, Kim e Forsythe 2008).

Molti studi hanno anche esaminato la potenza esplicativa complessiva del TAM e la validità delle misurazioni in diversi contesti empirici caratterizzati da gruppi di utenti, tecnologia e contesto organizzativo differenti. Ad esempio, per quanto riguarda i gruppi di utenti, Szajna (1996) ha utilizzato il TAM in un'indagine di accettazione di una e-mail da parte di studenti laureati di una scuola di economia, mentre Davis (1989) ha utilizzato il TAM per testare l'accettazione di un sistema di posta elettronica e di un editor di parole da parte dei dipendenti di una grande organizzazione commerciale.

I risultati di questi e di altri studi suggeriscono che il TAM è in grado di fornire una spiegazione e/o una previsione abbastanza adeguata dell'accettazione dei sistemi informatici da parte degli utenti, qualunque sia il contesto applicativo di riferimento.

Il modello di accettazione della tecnologia inizialmente adottato da Davis, ha subito negli anni diverse evoluzioni. Tali evoluzioni hanno riguardato soprattutto le condizioni causali intercorrenti tra i determinanti individuati, mentre sono rimasti invariati i fattori ritenuti determinanti per l'accettazione della tecnologia. Questo aspetto, come si vedrà nei successivi paragrafi, è quello che di fatto distingue il TAM originale dai successivi sviluppi che hanno condotto alla formulazione del TAM2 e del TAM3.

Nell'iniziale forma del TAM (Davis, 1985) si ipotizza che l'atteggiamento generale del potenziale utente nei confronti dell'uso di un determinato sistema sia un fattore determinante per stabilire se effettivamente lo stesso utilizza o meno. L'atteggiamento verso l'utilizzo, a sua volta, è una funzione di due grandi credenze: l'utilità percepita e la facilità d'uso percepita. La facilità d'uso percepita ha un effetto causale sull'utilità percepita. Il modello di accettazione della tecnologia proposto è mostrato in Figura 15, con le frecce che rappresentano le relazioni causali tra i diversi fattori.

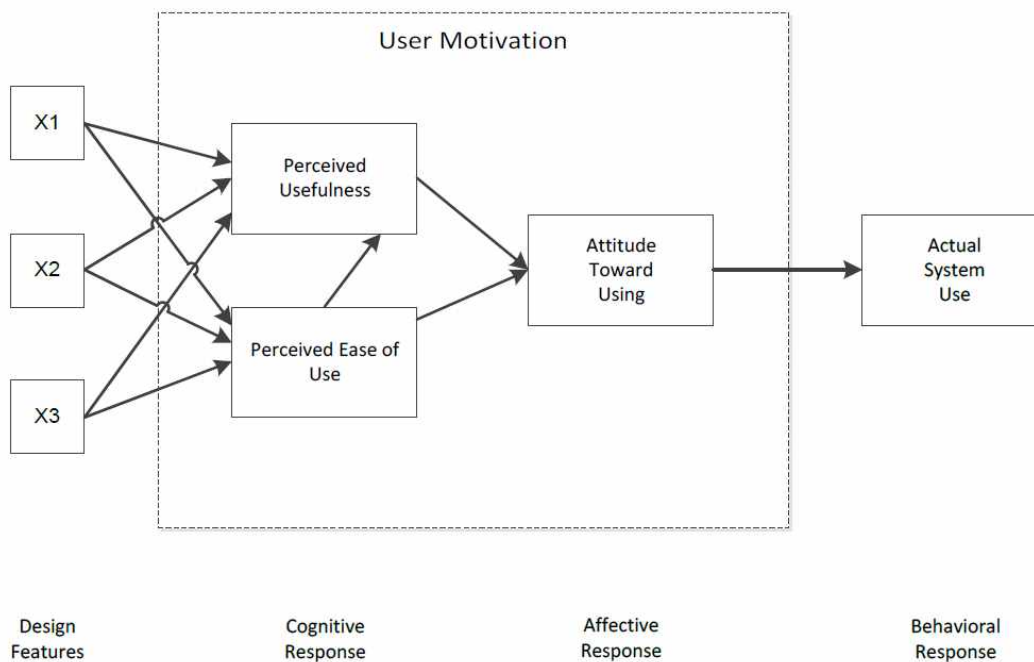


Figura 15- TAM 1985 (Davis, 1985)

Entrambe le credenze salienti, analogamente a quanto considerato nella TRA, contribuiscono a definire l'atteggiamento dell'utente. Al contempo, entrambe le credenze, sono definite da un insieme di variabili binarie indicate come "caratteristiche della progettazione" o "design features". Secondo il modello, Le caratteristiche del design influenzano direttamente l'utilità percepita e la percezione della facilità d'uso. Poiché le caratteristiche della progettazione rientrano nella categoria delle variabili esterne all'interno del paradigma di Fishbein³ si ritiene che esse non abbiano un effetto diretto sull'atteggiamento o sul

³ Il modello Fishbein afferma che le variabili esterne, come le caratteristiche del target comportamentale, influenzano le intenzioni comportamentali solo indirettamente influenzando le convinzioni dell'individuo, le valutazioni, le convinzioni normative, le

comportamento ed influenzino queste variabili solo indirettamente attraverso l'utilità percepita e la percezione della facilità d'uso. Seguendo il modello Fishbein, le relazioni del modello in esame risultano essere di natura lineare e possono essere specificate come segue:

$$PEOU = \sum_{i=1}^n \beta_i x_i + \varepsilon \quad (3.7)$$

$$PU = \sum_{i=1}^n \beta_i x_i + \beta_{n+1} PEOU + \varepsilon \quad (3.8)$$

$$ATT = \beta_1 PEOU + \beta_2 PU + \varepsilon \quad (3.9)$$

$$USE = \beta_1 ATT + \varepsilon \quad (3.10)$$

Con

- X_i = caratteristica della progettazione i , con $i = 1, \dots, n$
- PEOU = facilità d'uso percepita
- PU = utilità percepita
- ATT = attitudine verso l'utilizzo
- USE = uso effettivo del sistema
- β_i = coefficiente di regressione parziale standardizzato
- ε = termine di errore casuale

Come si evince dalla struttura appena descritta, il TAM risulta un modello relativamente semplice rispetto ad altri modelli teorici applicati per descrivere l'adozione di tecnologie, infatti figurano poche variabili con alto livello di caratteristiche descrittive. Questo spiega perché il modello, specializzato per i sistemi informativi, e gli strumenti di misura di questo modello sono diventati generalizzabili e vengono comunemente applicati in più campi.

Le variabili che figurano nel modello sono, infatti, 4: l'uso, l'atteggiamento, l'utilità percepita e la percezione della facilità d'uso.

L'uso si riferisce all'effettivo utilizzo diretto da parte di un individuo del sistema dato, generalmente in un contesto lavorativo. Conseguentemente, l'uso del sistema si traduce in un comportamento ripetuto, a più atti.

Secondo Davis (1985, p. 24), si ipotizza che "l'atteggiamento generale di un potenziale utente verso l'uso di un dato sistema sia un fattore determinante per stabilire se effettivamente lo utilizza o meno. L'atteggiamento si riferisce al grado di influenza valutativa (ad esempio, Fishbein & Ajzen, 1975, pag. 216) che un individuo associa all'utilizzo di un dato sistema nel proprio lavoro. Pertanto, la definizione e la misurazione dell'attitudine corrispondono nella specificità con la definizione del criterio comportamentale, come raccomandato da Ajzen e Fishbein (1977). L'atteggiamento verso l'uso, a sua volta, è una funzione di due importanti convinzioni: l'utilità percepita (Perceived Usefulness, PU) e la percezione della facilità d'uso (Perceived Ease of Use, PEOU)".

Il TAM propone due fattori fondamentali, ovvero l'utilità percepita e la facilità d'uso percepita, che giocano un ruolo nell'accettazione e nella decisione di utilizzare le nuove tecnologie (Davis, 1989). In accordo alla TRA spesso ci si riferisce a questi due fattori come credenze.

L'utilità percepita indica la misura in cui gli individui ritengono che l'uso di particolari sistemi migliorerebbe le loro prestazioni lavorative (Davis, 1989). Diversi studi propongono l'utilità percepita del TAM come un'intenzione comportamentale determinante (Davis, 1989; Venkatesh, et al., 2003; Ha e Stoel, 2009). Gli studi disponibili hanno evidenziato che l'utilità percepita ha effetti positivi diretti e

motivazioni da rispettare, o i pesi dell'importanza delle componenti della norma attitudinale e soggettiva (Fishbein & Ajzen, pag. 307). Le variabili esterne comprendono tutte le variabili non esplicitamente rappresentate nel modello, e comprendono variabili demografiche o caratteristiche della personalità dell'attore, la natura del particolare comportamento in esame, le caratteristiche dei referenti, il comportamento precedente, e la comunicazione persuasiva

indiretti sulle intenzioni comportamentali degli utenti (Venkatesh et al., 2003; Shih, 2004; Ha e Stoel, 2009).

La facilità d'uso percepita indica la misura in cui gli individui ritengono che l'uso di particolari sistemi escluderebbe lo sforzo fisico o mentale. Nel TAM, la facilità d'uso percepita è un fattore essenziale per l'accettazione di una data tecnologia. Secondo Buton-Jones e Hubona (2005), gli elementi che rendono le tecnologie comuni facili da usare, comprese le tecnologie e le interfacce dei siti di shopping online, sono la capacità di imparare rapidamente e di acquisire competenze. Selamat et al., (2009) suggeriscono che quanto più facile è percepito da una persona l'uso di una data tecnologia, tanto più facile è per gli altri accettare la tecnologia, e quanto più complessa è percepita la tecnologia, tanto più basso è il tasso di accettazione della tecnologia. Teo (2001) ha osservato che gli utenti spesso si impegnano meno per un sistema facile da usare, aumentando così la probabilità di adottare e utilizzare una particolare tecnologia. Childers et al., (2001) hanno scoperto che i consumatori desiderano utilizzare siti web di shopping online facilmente comprensibili e non complicati, che non richiedono uno sforzo mentale eccessivo, e che sono più attratti da questo tipo di siti web e li visitano più di una volta per fare acquisti. (Ha e Stoel, 2009; Yuliharsi & Daud, 2011; Lim e Ting, 2012). La facilità d'uso percepita influisce direttamente sull'atteggiamento dei consumatori nei confronti dell'uso della tecnologia. Quando l'utente riesce a utilizzare l'applicazione senza difficoltà, allora penserà che l'applicazione è facile da usare. Di conseguenza, sarà incline a utilizzare regolarmente l'applicazione.

Esistono molti studi che indagano la relazione tra la facilità d'uso percepita e l'utilità percepita (Chen et al., 2002; Moon e Kim, 2001; Ha e Stoel, 2009). La presenza di una relazione tra la facilità d'uso percepita e l'utilità percepita è cruciale per il funzionamento del modello. La percezione della facilità d'uso da parte dell'utente è una precondizione per la percezione dell'utilità dell'oggetto. Si ipotizza che la facilità d'uso percepita abbia anche un significativo effetto diretto sull'utilità percepita, poiché, a parità di altre condizioni, un sistema facile da usare si tradurrà in un aumento delle prestazioni di lavoro (cioè in una maggiore utilità) per l'utente. Tale ipotesi è stata avvalorata dai risultati ottenuti in molti studi (Ha e Stoel, 2009).

Se da un lato è stato rilevato che l'utilità percepita è costantemente importante nella formazione dell'atteggiamento, dall'altro la facilità d'uso percepita è risultata meno importante e più incoerente. Come suggerito da letteratura, una spiegazione plausibile per il differenziale osservato è legato al fatto che la facilità d'uso percepita come determinante dell'intenzione di utilizzare una tecnologia può diventare insignificante dopo l'esposizione prolungata degli utenti alla tecnologia.

Le analisi dei fattori suggeriscono che U e EOU sono dimensioni statisticamente distinte (Hauser e Shugan 1980; Larcker e Lessig 1980; Swanson 1987).

Grazie a questi attributi, il modello di accettazione della tecnologia è un modello comunemente accettato per spiegare e prevedere l'atteggiamento degli individui nei confronti delle innovazioni tecnologiche. Per queste ragioni, il modello di accettazione della tecnologia è stato considerato adatto a questo tema di ricerca.

Nel 1989, Davis propose assieme a Bagozzi e Warshaw una rielaborazione della teoria che prevedeva l'introduzione di una variabile intermedia tra l'attitudine e l'uso effettivo del sistema, ovvero l'intenzione comportamentale di utilizzo (Behavioral Intention to Use, BI). L'intenzione comportamentale è definita come "la probabilità soggettiva di un individuo di compiere un determinato comportamento" (Fishbein e Ajzen 1975, p. 288 citato da Davis, 1985, p.16).

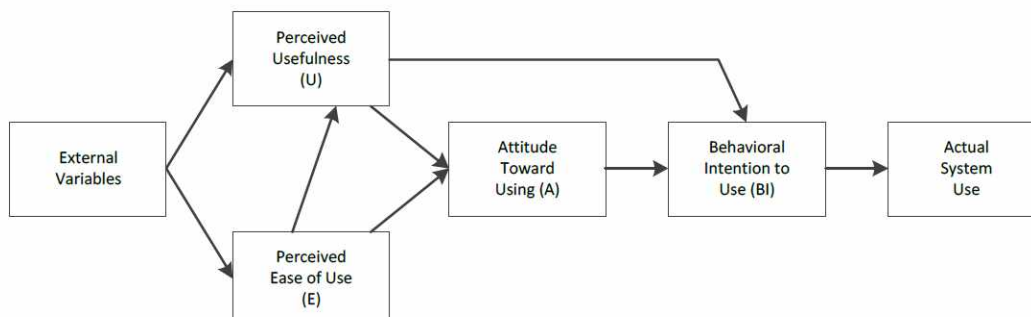


Figura 16- TAM 1989 before comparison study of TPB and TAM (Davis, Bagozzi and Warshaw, 1989)

Secondo questa evoluzione si ritiene che le due convinzioni principali (PU e PEOU) influenzino l'atteggiamento verso l'uso, che a sua volta influenza ulteriormente l'intenzione comportamentale di utilizzo. Vi è poi ovviamente una relazione positiva tra l'intenzione comportamentale di utilizzo e l'utilizzo del sistema. Davis, Bagozzi & Warshaw nel 1989, Davis & Venkatesh, 1996e Venkatesh et al. nel 2003, tuttavia, indicano che l'intenzione comportamentale non influenza in modo significativo l'effettivo utilizzo della tecnologia, perché è troppo imprevedibile. Date le relazioni che intercorrono tra attitudine, intenzione comportamentale e comportamento effettivo, in questa evoluzione il modello TAM risulta molto simile alla TRA, tuttavia, la differenza rispetto a quest'ultima è l'esclusione della norma sociale nello studio del modello.

Piuttosto che da attitudine e norma sociale, nel TAM, la BI risulta determinata congiuntamente dall'atteggiamento della persona verso l'utilizzo del sistema (Att) e dall'utilità percepita (PU), con pesi relativi stimati tramite la regressione:

$$BI = Att + PU \quad (3.11)$$

La relazione Att-BI rappresentata nel TAM implica che, a parità di altre condizioni, le persone hanno l'intenzione di realizzare comportamenti verso i quali hanno un'attitudine positiva. Tale relazione è fondamentale per il TRA e per i modelli correlati presentati da Triandis (1977) e Bagozzi (1981).

Sebbene l'effetto diretto di una credenza (come la PU) sulla BI sia in contrasto con quanto postulato dalla TRA, i modelli di intenzione alternativi forniscono una giustificazione teorica e una prova empirica dei legami diretti tra credenza e intenzione (Bagozzi 1982; Triandis 1977; Brinberg 1979). La relazione PU-BI si basa sull'idea che le persone fondino le proprie intenzioni comportamentali su elementi che possono aumentare le loro prestazioni lavorative, al di là di qualsiasi sentimento positivo o negativo che possa essere evocato nei confronti del comportamento in sé. Ciò è dovuto al fatto che il miglioramento delle prestazioni è strumentale al raggiungimento di varie ricompense estrinseche al contenuto del lavoro stesso, come gli aumenti di stipendio e le promozioni (ad esempio, Vroom 1964). Le intenzioni verso tali comportamenti sono teorizzate per essere basate in gran parte su regole decisionali cognitive per migliorare le prestazioni, senza ogni volta richiedere una rivalutazione di come il miglioramento delle prestazioni contribuisca a scopi e traguardi più alti nella propria gerarchia di obiettivi, e quindi senza necessariamente attivare l'effetto positivo associato alle ricompense legate alle prestazioni (Bagozzi 1982; Vallacher e Wegner 1985). Se l'effetto non è pienamente attivato quando si decide se utilizzare un particolare sistema, non ci si aspetta che l'atteggiamento di una persona catturi completamente l'impatto delle considerazioni sulla performance sulla propria intenzione. Quindi, la relazione PU-BI nel TAM rappresenta l'effetto diretto che ne deriva, ipotizzando che le persone formino intenzioni verso l'uso di sistemi informatici basate in gran parte su una valutazione cognitiva di come questo migliorerà le loro prestazioni.

Il TAM non include la norma soggettiva (SN) presente nella TRA come determinante della BI. Come riconoscono Fishbein e Ajzen (1975, p. 304), questa relazione individua uno degli aspetti meno compresi della TRA. È difficile distinguere gli effetti diretti della norma sociale sull'intenzione comportamentale dagli effetti indiretti, per tramite delle attitudini. Di fatti, la norma sociale può influenzare l'intenzione comportamentale indirettamente attraverso l'attitudine, a causa dei processi di internalizzazione e di identificazione, o influenzare la BI direttamente attraverso la conformità (Kelman 1958; Warshaw 1980b). Ad esempio, sebbene si pensi generalmente che l'uso del computer da parte di manager e professionisti sia per lo più volontario (DeSanctis 1983; Robey 1979; Swanson 1987), in alcuni casi le persone possono utilizzare un sistema per conformarsi ai mandati dei loro superiori, piuttosto che a causa dei propri sentimenti e delle proprie convinzioni sull'uso del computer. Tuttavia, come sottolinea Warshaw (1980b), le misure della SN non sembrano differenziare la conformità dall'internalizzazione e dall'identificazione. Complicando ulteriormente le cose, Att può influenzare la SN, per esempio a causa dell'effetto "falso consenso" in cui le persone proiettano i propri atteggiamenti verso gli altri (per esempio, Oliver e Bearden 1985). A causa del suo incerto status teorico e psicométrico, la norma sociale non è stata inclusa nel TAM. Le precedenti ricerche sull'adozione dei sistemi informatici contengono prove empiriche a favore delle relazioni Att-BI e PU-BI. Sebbene la BI, di per sé, raramente è stata misurata, diversi studi hanno misurato A, utilizzando una varietà di metodologie di misurazione, e hanno osservato un legame significativo tra

Att ed uso (Swanson 1982). Utilità, e variabili simili ad essa, come la percezione degli impatti sulle prestazioni, rilevanza e importanza, sono stati collegati anche all'uso (DeSanctis 1983; Robey 1979; Schultz e Slevin 1975; Swanson 1987). Sebbene le misure impiegate in questi studi fossero abbastanza variegati e spesso non convalidati, la somiglianza dei risultati ottenuti da contesti diversi suggerisce la possibilità di relazioni di base robuste e di una certa solidità di fondo.

Si ipotizza inoltre che la PEOU abbia un effetto significativo su Att. Il TAM distingue due meccanismi di base attraverso i quali la PEOU influenza gli atteggiamenti e i comportamenti: autoefficacia e strumentalità. Quanto più facile è l'interazione di un sistema, tanto maggiore dovrebbe essere il senso di efficacia (Bandura 1982) e di controllo personale (Lepper 1985) per quanto riguarda la propria capacità di eseguire le sequenze di comportamento necessarie per far funzionare il sistema.

Inoltre, i miglioramenti della PEOU possono essere strumentali, contribuendo ad aumentare le prestazioni. Lo sforzo risparmiato grazie al miglioramento della PEOU può essere ridistribuito, consentendo a una persona di svolgere più lavoro per lo stesso sforzo. Nella misura in cui l'aumento della PEOU contribuisce a migliorare le prestazioni, come ci si aspetterebbe, la PEOU ha un effetto diretto sulla PU.

Per questo motivo, consideriamo PU e PEOU come costrutti distinti ma correlati. L'utilità percepita (PU) può essere influenzata da diverse variabili esterne oltre che dalla PEOU. Per esempio, si considerino due sistemi di previsione che sono ugualmente facili da usare. Se uno di essi produce una previsione obiettivamente più accurata, potrebbe risultare il sistema più utile (PU), nonostante la parità della PEOU. Allo stesso modo, se un programma di grafica produce grafici di qualità superiore rispetto alle sue controparti altrettanto facili da usare, dovrebbe essere considerato più utile. Di conseguenza, le caratteristiche oggettive del progetto di un sistema possono avere un effetto diretto su PU oltre ad effetti indiretti tramite PEOU.

Anche la percezione della facilità d'uso (PEOU) è teorizzata per essere determinata da variabili esterne. Molte caratteristiche del sistema, come i menu, le icone, i mouse e i touch screen, sono specificamente destinate a migliorare l'usabilità (Bewley et al. 1983). L'impatto delle caratteristiche del sistema sulla PEOU è stato documentato (ad esempio, Benbasat, Dexter e Todd 1986; Bewley et al. 1983; La formazione, la documentazione e i consulenti di supporto agli utenti sono altri fattori esterni che possono influenzare la PEOU.

Nonostante la loro somiglianza, TAM e TRA si differenziano per diversi aspetti teorici, alcuni di che giustificano una spiegazione. Sia il TAM che il TRA affermano che Att è determinata dalle credenze rilevanti. Vanno però sottolineate due differenze chiave risedenti nel modo in cui TAM e TRA modellano i determinanti delle attitudini. In primo luogo, utilizzando la TRA vengono considerate delle credenze salienti per ogni nuovo contesto. Le convinzioni che ne derivano sono considerate idiosincratiche al contesto specifico, da non generalizzare, ad esempio, ad altri sistemi e utenti (Ajzen e Fishbein 1980).

Al contrario, la PU e la PEOU del TAM sono postulati a priori, e sono intesi come fattori determinanti abbastanza generali dell'accettazione da parte degli utenti. Questo approccio è stato scelto nel tentativo di arrivare ad un insieme di convinzioni che più facilmente si generalizza ai diversi sistemi informatici e alle diverse popolazioni di utenti.

In secondo luogo, mentre nella TRA la somma di tutte le credenze (b.) moltiplicate per i corrispondenti pesi di valutazione, confluiscono in un unico costrutto (l'atteggiamento), il TAM tratta la PU e la PEOU come due costrutti fondamentali e distinti. Modellare le credenze in questo modo disaggregato permette di confrontare l'influenza relativa di ciascuna credenza nel determinare l'attitudine, fornendo importanti informazioni diagnostiche. Inoltre, rappresentare le credenze separatamente permette al ricercatore di tracciare meglio l'influenza di variabili esterne, come le caratteristiche del sistema, le caratteristiche dell'utente e simili, sul comportamento finale. Da un punto di vista pratico, questo consente di formulare meglio le strategie per influenzare l'accettazione dell'utente attraverso interventi esterni controllabili che hanno influenze misurabili su particolari credenze. Ad esempio, alcune strategie possono concentrarsi sull'aumento della PEOU, come la fornitura di un'interfaccia all'utente migliorata o di una migliore formazione. Altre strategie possono mirare alla PU, aumentando l'accuratezza o la quantità di informazioni accessibili attraverso un sistema.

Di seguito sono riportate schematicamente ulteriori modifiche che Davis ha apportato al modello originale TAM nel corso degli anni.

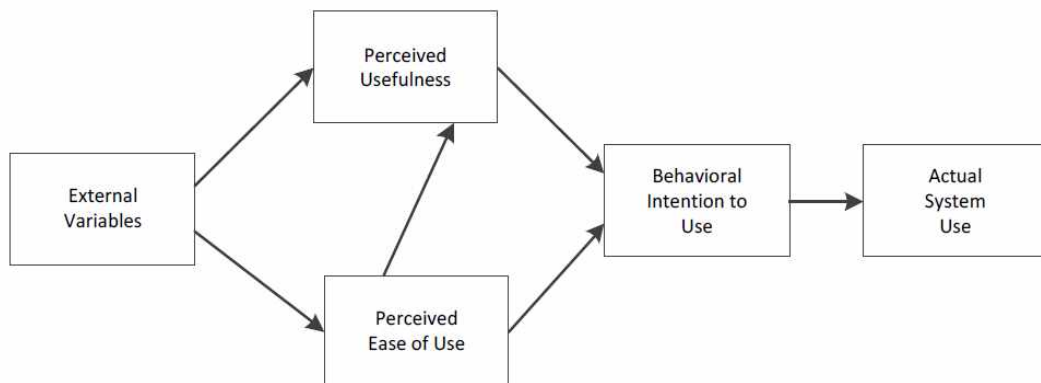
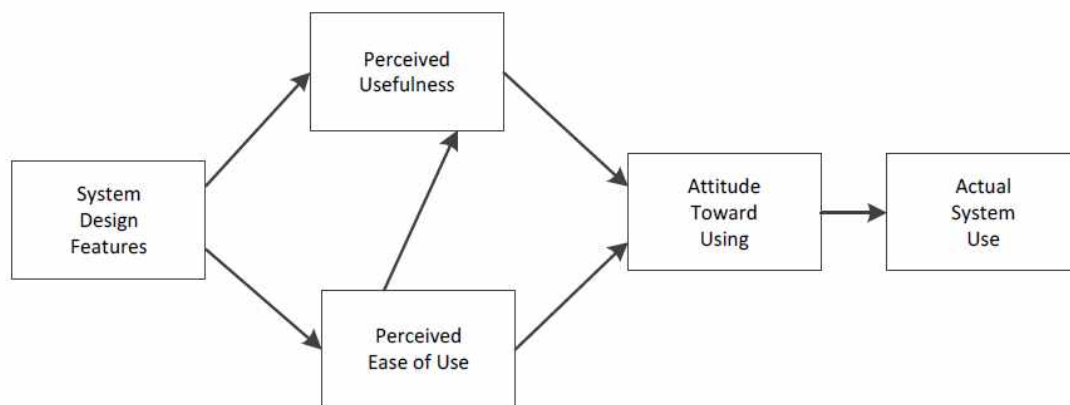


Figura 17- TAM 1989 after comparison of TPB and TAM (Venkatesh and Davis, 1996)



External
Stimulus

Cognitive
Response

Affective
Response

Behavioral
Response

Figura 18- TAM 1993 (Davis, 1993)

Sebbene questo modello sia ampiamente utilizzato, alcuni autori hanno delle riserve (Chuttur, 2008; Legris, Ingham & Colletette, 2003; Silva, 2007; Benbasat & Barki, 2007; Hess, McNab & Basoglu, 2014; Straub & Burton-Jones, 2007). Nella letteratura recensita, molti ricercatori hanno utilizzato nei loro campioni studenti o organizzazioni che non possono essere considerati un campione rappresentativo dell'ambiente sociale (Davis & Venkatesh, 1996; Venkatesh & Davis, 2000; Venkatesh, 2000; Davis, 1989; Chuttur, 2009; Venkatesh & Bala, 2008). Ulteriori critiche sulla ricerca TAM richiamano l'attenzione sul tipo di applicazioni utilizzate, e sul fatto che sono incluse misure di utilizzo effettivo del sistema molto limitate (Legris, Ingham & Colletette 2003). Hess, McNab & Basoglu (2014) affermano che il modello è stato progettato per specifici paradigmi e intenzioni di sistema che variano dai paradigmi e sistemi a cui è spesso applicato. Il fatto che i costrutti siano abbandonati o modificati per adattarsi allo scopo dello studio crea problemi per misurazioni coerenti (Hess, McNab & Basoglu, 2014)

Nei principali studi di letteratura inizialmente effettuati adottando il TAM, l'uso del sistema considerato era volontario. Davis (1993) suggerisce che gli studi futuri in termini di TAM dovrebbero considerare le seguenti variabili: motivazione intrinseca ed estrinseca, uso obbligatorio, esperienza, supporto alla gestione, coinvolgimento dell'utente, caratteristiche del compito e un quadro più dettagliato e di qualità superiore delle caratteristiche del progetto. Venkatesh e Davis (2000) incoraggiano i ricercatori ad esplorare ulteriormente i fattori che influenzano anche l'uso, come la scelta tra sistemi tecnologici, l'apprendimento e la formazione, le incomprensioni sull'utilità e la facilità d'uso della tecnologia, così come i cambiamenti nell'ambiente di lavoro o sociale.

Sulla scorta di tutte queste raccomandazioni, nel nuovo millennio sono state apportate delle modifiche delle variabili prese in considerazione, comportando l'individuazione del TAM2 e del TAM3.

3.6.2 Technology Acceptance Model 2, TAM2

Il TAM2 è stato sviluppato per spiegare meglio l'adozione della tecnologia nell'ambiente di lavoro dove l'uso di sistemi tecnologici è prevalentemente obbligatorio (Venkatesh & Davis, 2000).

Venkatesh & Davis (2000) propongono che l'utilità percepita, oltre che dalla percezione della facilità d'uso, sia influenzata da altre variabili quali la volontarietà, la norma soggettiva, l'immagine, la rilevanza del lavoro, la qualità dell'output e la dimostrabilità dei risultati. Il loro studio mostra che, quando l'uso di un dispositivo è obbligatorio, la norma soggettiva gioca un ruolo importante inizialmente in termini di utilità percepita. Man mano che l'esperienza d'uso aumenta, l'influenza dell'ambiente sociale ha meno effetto sull'utilità percepita e sul comportamento d'uso finale. L'immagine è invece una variabile che non cambia con l'esperienza dell'utente. Lo studio mostra anche che, fintanto che gli attori di ruolo influenti credono nell'utilità della tecnologia, l'utente continuerà ad utilizzarla. La ragione di questo comportamento è che l'uso continuo della tecnologia può avere un impatto sullo stato dell'utente, e quindi anche sulla sua performance all'interno del gruppo. Di seguito un riassunto schematico del modello TAM2.

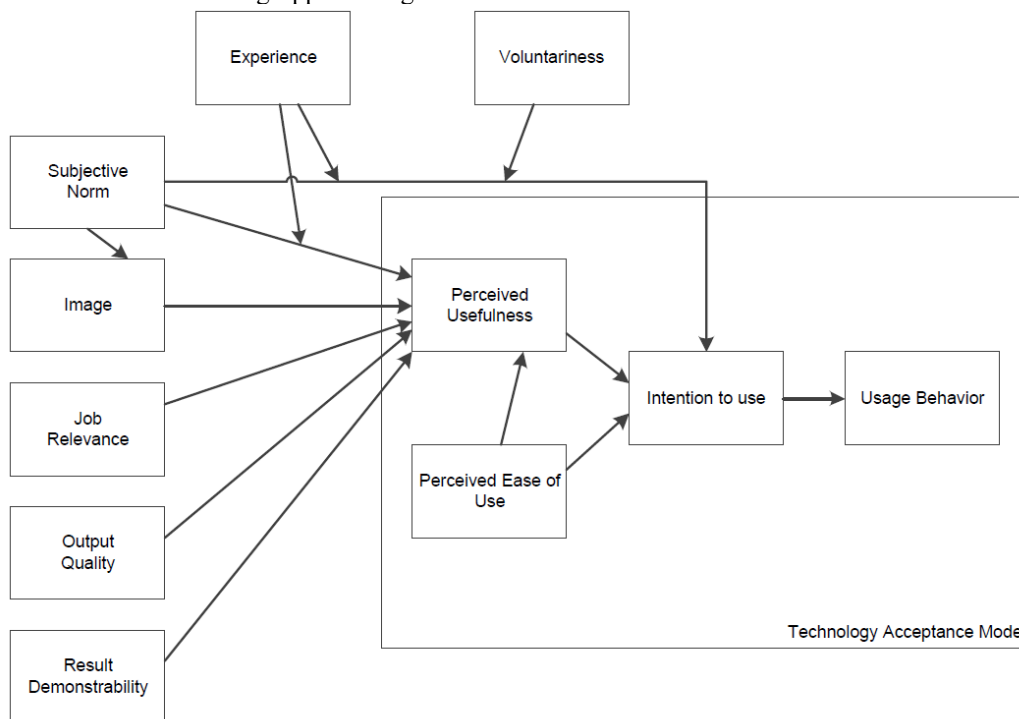


Figura 19- TAM2 2000 (Venkatesh and Davis, 2000)

La rilevanza del lavoro, la qualità dell'output, la dimostrabilità del risultato e la facilità d'uso percepita sono raggruppate nella costruzione dei processi cognitivi strumentali. Secondo questo costrutto, le persone esaminano cognitivamente la capacità del sistema (tecnologia) e come si allinea con il loro lavoro. La rilevanza del lavoro è stata definita come "la percezione di un individuo riguardo al grado in cui il sistema target è applicabile al suo lavoro" (Venkatesh & Davis, 2000, p. 191). La qualità dell'output è descritta come "quanto bene il sistema svolge i compiti relativi al lavoro" (Venkatesh & Davis, 2000, p. 191). La variabile della dimostrabilità dei risultati è stata aggiunta e si riferisce alla "tangibilità dei risultati dell'utilizzo dell'innovazione" (Venkatesh & Davis, 2000, p. 192), perché la tecnologia non sempre funziona secondo i piani.

3.6.3 Technology Acceptance Model 3, TAM3

La continua ricerca relativa al modello TAM ha consentito di identificare ulteriori fattori che determinano se i lavoratori dipendenti siano disposti ad adottare o meno un sistema informatico (Davis & Venkatesh, 1996; Venkatesh & Davis, 1996; Venkatesh & Davis, 2000; Venkatesh, 2000; Davis, 1989; Chuttur, 2009; Venkatesh & Bala, 2008). Secondo i ricercatori, l'uso effettivo era, ed è tuttora, problematico e le linee guida pratiche sul miglioramento dell'adozione sono limitate (Chuttur, 2009; Legris, Ingham & Colletette, 2003; Silva, 2007; Benbasat & Barki, 2007; Hess, McNab & Basoglo, 2014; Straub & Burton-Jones, 2007). Il TAM3 è stato sviluppato per fornire migliori linee guida su come migliorare l'adozione individuale dei sistemi informatici nelle varie fasi di implementazione (Venkatesh & Bala, 2008). Sono stati individuati i fattori che influenzano l'adozione e l'utilizzo individuale, nonché il modo in cui questi fattori interagiscono e sono collegati, soprattutto in termini di utilità percepita e di facilità d'uso percepita (Venkatesh & Bala, 2008).

Nello studio di Venkatesh e Bala (2008) sono stati considerati undici fattori (individuati in precedenti studi TAM) per spiegare come questi influenzano la percezione della facilità d'uso e l'utilità percepita. Norma soggettiva, rilevanza del lavoro, qualità dell'output (Venkatesh & Davis, 2000), dimostrabilità del risultato e immagine (Moore & Benbasat, 1991) sono, secondo questo modello, i fattori che influenzano l'utilità percepita (Venkatesh & Bala, 2008). Invece, la facilità d'uso percepita è influenzata dall'autoefficacia del computer (Compeau & Higgins, 1995), dalla percezione del controllo esterno (Venkatesh et al., 2003), dall'ansia del computer, dal godimento percepito, dall'usabilità oggettiva (Venkatesh, 2000) e dalla giocosità del computer (Webster & Martocchio, 1992).

I modelli discussi nei paragrafi precedenti non sono stati messi in discussione, ma sono state individuate delle lacune nelle linee guida pratiche che supportano l'organizzazione nell'incoraggiare i dipendenti ad utilizzare questi costosi sistemi tecnologici (Venkatesh & Bala, 2008). L'attenzione si concentra sulla fornitura di un modello praticamente implementabile, che tiene conto di vari studi e risultati di TAM. La Figura 20 illustra il modello risultante.

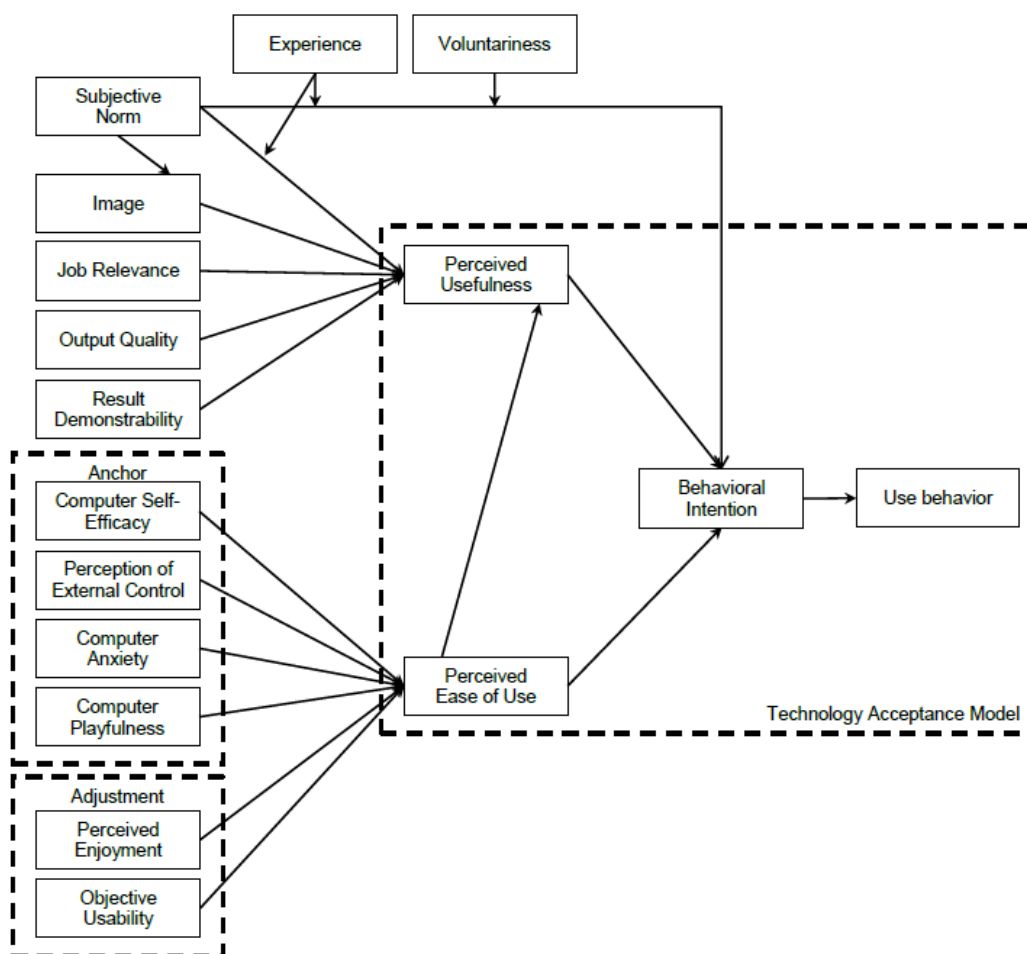


Figura 20- TAM 3 2008 (Venkatesh and Bala, 2008)

Nel settore dei trasporti il TAM è stato ampiamente utilizzato, soprattutto nella sua versione estesa o in combinazione con altre teorie. Sebbene la metodologia sia nata per lo studio dei sistemi tecnologici, nel campo dei trasporti il suo utilizzo non si è limitato all'adozione di sistemi tecnologici, ma è stato esteso anche all'adozione di servizi che hanno una natura tecnologica solo parziale. Ad esempio, Wang et al. 2020 hanno utilizzato un modello di accettazione tecnologica esteso per comprendere i determinanti dell'intenzione dei consumatori ad utilizzare i servizi di ride-sharing. In questo caso, l'estensione consisteva nell'incorporare tre nuovi costrutti: innovatività personale, consapevolezza ambientale e rischio percepito. I risultati indicano che l'innovatività personale, la consapevolezza ambientale e l'utilità percepita sono associate positivamente all'intenzione dei consumatori di utilizzare i servizi di ride-sharing, mentre il rischio percepito è associato negativamente all'intenzione e all'utilità percepita. L'analisi ha mostrato che, per questa applicazione, contrariamente al costrutto TAM originale, la facilità d'uso percepita non ha avuto un effetto significativo sull'intenzione di utilizzare i servizi di ride-sharing. Analogamente, anche Sonneberg et al. 2019 hanno utilizzato il TAM per indagare un problema simile a quello di Wang et al. 2020, ma in questo caso la struttura TAM è stata combinata con il TRA. In particolare, si presume che l'atteggiamento dello schema TRA sia influenzato dai costrutti TAM. Inoltre, per adattarsi al contesto di ricerca dei servizi di ridepooling, lo schema TAM è stato ampliato con i costrutti di compatibilità percepita PC e sicurezza percepita PS. PC ha un effetto positivo significativo sulla PU dei servizi di ridepooling, sull'ATT dei servizi di ridepooling e sulla BI dei servizi di ridepooling. In questo caso, la relazione tra PU dei servizi di ridepooling gioca solo un ruolo subordinato; inoltre, i risultati non forniscono prove significative dell'impatto di PEOU e PS sui servizi di ridepooling. Al contrario, è stata

identificata l'alta rilevanza del PC nel predire l'accettazione dei servizi di ridepooling, avendo un impatto più significativo della BI. Questo, suggerisce che per questa applicazione possa essere la combinazione di questi due costrutti a non funzionare bene, o probabilmente, considerando anche l'applicazione sul ride-sharing, che il TAM non individui la teoria più adatta ad interpretare l'adozione di servizi in cui l'interfaccia tecnologica è solo una parte dell'approccio alla mobilità.

Diop et al. (2019) hanno utilizzato il TAM per prevedere e spiegare l'intenzione dei guidatori ad utilizzare le informazioni dei pannelli a messaggio variabile (VMS). Oltre ai tradizionali costrutti del TAM, il modello ha esaminato gli effetti dell'atteggiamento verso la deviazione del percorso, della familiarità con la rete stradale e della qualità delle informazioni sull'accettazione dei VMS da parte dei guidatori.

Sulla base di studi precedenti, si è ipotizzato che (i) l'atteggiamento verso la deviazione del percorso abbia un effetto positivo sull'utilità percepita e sull'intenzione di utilizzare i VMS, (ii) la qualità delle informazioni abbia un effetto positivo sulla facilità d'uso percepita e sull'utilità percepita e (iii) la familiarità abbia un'attitudine positiva verso la deviazione e un'influenza negativa sull'utilità percepita dei VMS. I risultati hanno confermato tutte le ipotesi.

La maggior parte delle applicazioni del TAM nel settore dei trasporti è rivolta ai veicoli autonomi, in cui è coinvolta una nuova tecnologia. Zhang et al. 2019 hanno esteso il Modello di accettazione della tecnologia (TAM) con nuovi costrutti (attitudine all'uso, fiducia iniziale, rischio di sicurezza percepito, PSR, e rischio di privacy percepito, PPR) per esplorare i fattori che influenzano l'accettazione dei veicoli parzialmente autonomi da parte degli utenti (AV, livello 3). La fiducia si riferisce all'attitudine a credere che un agente aiuterà a raggiungere gli obiettivi di un individuo in una situazione caratterizzata da incertezza e vulnerabilità. In questo studio si ipotizza che la fiducia iniziale abbia un effetto positivo sull'atteggiamento positivo verso l'utilizzo dei veicoli ad automazione parziale, ma anche che l'utilità percepita e la facilità d'uso percepita abbiano un effetto positivo sulla fiducia iniziale degli utenti nei confronti di questi veicoli. Si presume inoltre che l'atteggiamento influenzi l'intenzione comportamentale insieme all'utilità percepita e che i due principali costrutti TAM influenzino l'atteggiamento direttamente e indirettamente, attraverso la fiducia iniziale. Il rischio di sicurezza percepito e il rischio di privacy percepito sono stati identificati come i due tipi di rischio che più probabilmente influiscono sull'adozione dei AV in questa fase di sviluppo e si presume che abbiano un effetto negativo sulla fiducia iniziale nei confronti dei AV.

I risultati hanno rivelato che la fiducia iniziale è il fattore più critico nella promozione di un atteggiamento positivo nei confronti dei AV, che, insieme al PU, determina l'intenzione degli utenti di utilizzare i veicoli autonomi. La facilità d'uso percepita e il rischio di privacy percepito non sono risultati significativi nel definire la fiducia iniziale, mentre l'utilità percepita non è risultata significativa nel descrivere l'atteggiamento.

Anche Zhang et al. 2020 hanno presentato uno studio per indagare il ruolo dei fattori sociali e personali nell'accettazione dei veicoli autonomi. In questo caso il modello è stato ampliato con fattori sociali e personali, ossia la fiducia iniziale, l'influenza sociale e i tratti della personalità (Big Five) e della ricerca di sensazioni. I risultati hanno rivelato che all'inizio della commercializzazione degli AV, i fattori di percezione (facilità d'uso e utilità percepita) del TAM originale hanno mostrato un'influenza significativa sull'intenzione degli utenti di utilizzare gli AV. Ma soprattutto, sono stati l'influenza sociale e la fiducia iniziale a contribuire maggiormente a spiegare se gli utenti avrebbero accettato o meno gli AV. Anche alcuni tratti della personalità hanno svolto un certo ruolo nell'intenzione di utilizzare i dispositivi AV. In particolare, le persone che cercano nuove sensazioni e quelle con una maggiore apertura all'esperienza erano più propense a fidarsi dei sistemi AV e avevano una maggiore intenzione di adottarli. Al contrario, le persone nevrotiche hanno mostrato un livello di fiducia inferiore e sono state meno propense ad accettare i AV.

KOUL et al. (2020) hanno utilizzato il modello TAM per studiare l'intenzione comportamentale degli utenti verso la tecnologia delle auto senza conducente, ma il modello è stato ampliato con informazioni sugli anni di esperienza di guida, l'età e l'intenzione di utilizzare le auto senza conducente. Questo studio ha rilevato relazioni significative e positive tra l'utilità percepita della tecnologia delle auto senza conducente, la facilità d'uso percepita della tecnologia delle auto senza conducente e l'intenzione di utilizzare le auto senza conducente. Inoltre, sono state riscontrate relazioni significative e negative tra gli anni di esperienza di guida, l'età e l'intenzione di utilizzare le auto senza conducente. Infatti, questo lavoro

ha rilevato che con l'aumentare degli anni di esperienza di guida dei consumatori, l'intenzione dei potenziali consumatori di utilizzare le auto senza conducente è leggermente diminuita.

Panagiotopoulos e Dimitrakopoulos (2018) hanno proposto un processo di modellazione dell'accettazione della tecnologia estendendo il TAM originale per spiegare le intenzioni dei consumatori nei confronti degli AV. Lo studio prende il TAM originale come punto di partenza e poi estende questo modello con due nuovi fattori, "Fiducia percepita (PT)" e "Influenza sociale (SI)". Sono state utilizzate quattro variabili indipendenti (PU, PEU, PT, SI) e una variabile dipendente (BIU, Intenzione comportamentale di utilizzo). I risultati mostrano che i costrutti dell'utilità percepita, della facilità d'uso percepita, della fiducia percepita e dell'influenza sociale sono tutti utili predittori delle intenzioni comportamentali di possedere o utilizzare i sistemi AV, con l'utilità percepita che ha l'impatto più forte.

Wu et al. 2019 hanno cercato di comprendere l'accettazione pubblica dei veicoli elettrici autonomi (AEV) attraverso l'applicazione del Technology Acceptance Model. In questo caso l'utilità percepita è sostituita dalla green perceived usefulness (GPU), intesa come la misura in cui gli utenti ritengono che l'utilizzo di nuovi prodotti aumenterà le prestazioni ambientali della loro vita. Adottando la struttura originale del TAM, si ipotizza che l'utilità percepita verde sia positivamente correlata all'intenzione di comportamento verso gli AEV, che la facilità d'uso percepita sia positivamente correlata all'intenzione di comportamento verso gli AEV e che la facilità d'uso percepita sia positivamente correlata all'utilità percepita verde. Inoltre, viene considerato il costrutto di preoccupazione ambientale. Si ipotizza che la preoccupazione per l'ambiente sia significativamente correlata all'intenzione di comportamento di utilizzare gli AEV, all'utilità verde percepita degli AEV e alla facilità d'uso percepita degli AEV. I risultati indicano che l'utilità verde percepita, la facilità d'uso percepita e la preoccupazione ambientale hanno una relazione positiva con l'intenzione di utilizzare gli AEV. La preoccupazione ambientale ha un potente effetto indiretto sull'intenzione di utilizzo attraverso effetti di mediazione.

Infine, Min et al. 2018 hanno analizzato l'adozione da parte dei consumatori dell'applicazione mobile di Uber attraverso le lenti di due modelli teorici: la teoria della diffusione dell'innovazione e il modello di accettazione della tecnologia. Questo studio contribuisce alla letteratura precedente aggiungendo il fattore sociale - l'influenza sociale - ai fattori DOI esistenti. Sebbene la DOI sia nata per spiegare la diffusione delle innovazioni in una popolazione o in un sistema sociale, e contenga fondamentalmente il concetto di "influenza sociale" all'interno della teoria, non ha esaminato direttamente il contesto sociale all'interno della DOI. Questo studio presenta l'influenza sociale come un fattore di influenza che esamina quante persone sono influenzate da gruppi sociali vicini vedendoli usare l'applicazione mobile Uber. Pertanto, questo studio contribuisce alla DOI originale aggiungendo il fattore influenza sociale per integrare la sua insufficienza nel contesto sociale. I risultati mostrano che tutti i fattori DOI proposti in questo studio - vantaggio relativo, compatibilità, complessità, osservabilità e influenza sociale - erano significativamente correlati ai fattori TAM - PU e PEOU.

3.7 Unified Theory Of Acceptance And Use Of Technology - UTAUT (e relative modifiche)

3.7.1 UNIFIED THEORY OF ACCEPTANCE AND USE OF TECHNOLOGY, UTAUT

L'UTAUT è stato sviluppato da Venkatesh et al. 2003 ed è rivolto alla modellazione dei determinanti di accettazione ed utilizzo di un dato sistema, termine che nell'iniziale contesto è volto a focalizzare l'attenzione sull'adozione della tecnologia piuttosto che sul contesto più ampio dello studio. I costrutti della teoria dell'azione ragionata, il TAM, il TPB, un modello che combina il TAM e il TPB, la teoria sociale cognitiva (SCT)⁴ e la teoria della diffusione dell'innovazione sono stati rivisti e confrontati tra loro (Venkatesh et al., 2003). Questo confronto si traduce in quattro concetti fondamentali che influenzano l'adozione: aspettativa di performance, aspettativa di sforzo, influenza sociale e condizioni di agevolazione. "Il grado in cui un individuo crede che l'uso del sistema lo aiuterà ad ottenere guadagni

⁴ Si tratta di un'opera di riferimento in psicologia pubblicata nel 1986 da Albert Bandura. Il libro espande la teoria dell'apprendimento sociale iniziale di Bandura in una teoria completa della motivazione umana e dell'azione, analizzando il ruolo dei processi cognitivi, vicari, autoregolatori e autoriflessivi nel funzionamento psicosociale.

nelle prestazioni lavorative" (Venkatesh et al., 2003, p. 447) individua l'aspettativa di prestazione. L'aspettativa di sforzo è definita come "il grado di facilità associato all'uso del sistema" (Venkatesh, et al., 2003, p. 450), l'influenza sociale è "il grado in cui un individuo percepisce che persone per lui importanti credono che dovrebbe usare il nuovo sistema" (Venkatesh et al., 2003, p. 451) e le condizioni di agevolazione sono "il grado in cui un individuo crede che esista un'infrastruttura organizzativa e tecnica a supporto dell'uso del sistema" (Venkatesh et al., 2003, p. 453).

Il modello indica che il genere, l'età, l'esperienza e la volontarietà potrebbero influenzare queste variabili e, quindi, l'intenzione dell'utente di utilizzare la tecnologia. Il genere e l'età giocano un ruolo nell'aspettativa di performance, nell'aspettativa di sforzo e nell'influenza sociale. Il genere non ha un ruolo nelle condizioni di agevolazione. Il livello di esperienza degli utenti può essere utilizzato per prevedere la loro percezione dello sforzo richiesto, la pressione sociale e il supporto disponibile quando utilizzano il sistema. Più l'utente ha esperienza, più facile diventa l'uso della tecnologia e questo riduce la dipendenza da altri per quanto riguarda l'assistenza necessaria quando si usa la tecnologia. Analogamente, l'utente ha una migliore comprensione delle strutture e delle infrastrutture di supporto all'interno della propria organizzazione. Un'ulteriore constatazione è che le condizioni di agevolazione hanno un'influenza diretta sul comportamento degli utenti. La Figura 21 presenta il modello di Venkatesh et al. (2003).

Nel modello sono altresì considerati alcuni fattori cui si dà il nome di fattori moderatori poiché influenzano il ruolo giocato dalle variabili sull'intenzione comportamentale e sull'uso effettivo. Essi comprendono: genere, età, esperienza e volontarietà di utilizzo.

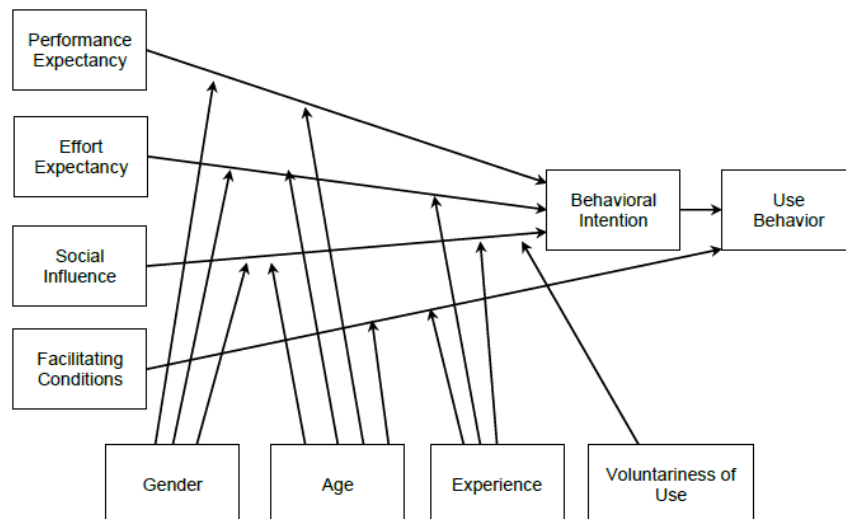


Figura 21- UTAUT (Venkatesh et al, 2003)

Venkatesh et al. (2003) sostengono che questo modello sia in grado di spiegare il 70% dell'intenzione di utilizzo di un sistema tecnologico.

Le limitazioni menzionate da Venkatesh et al. (2003), si concentrano sulle misure utilizzate, così come il ruolo che l'età e il genere giocano nell'intenzione comportamentale. Esse indicano la necessità di una comprensione più profonda dell'influenza del genere e del ruolo giocato nell'adozione della tecnologia. Venkatesh et al. (2003) ipotizzano che le differenze di genere possano scomparire man mano che la tecnologia diventa più integrata nella vita quotidiana. È stata anche identificata la necessità di rivedere l'età in cui appare e/o scompare l'influenza su queste relazioni. Inoltre, dai primi studi è emersa la necessità di analizzare ulteriori fattori socioeconomici quali: alfabetizzazione informatica, background sociale o culturale, fenomeni cognitivi, adattamento alla tecnologia e capacità individuale (Venkatesh et al., 2003). Tuttavia, questi stessi fattori non vengono contemplati neppure nella successiva estensione del modello.

Anche la UTAUT è stata ampiamente utilizzata nel settore dei trasporti, con una maggiore variabilità di applicazione rispetto alla TAM. Madigan et al. (2017) hanno utilizzato una versione adattata della Teoria unificata dell'accettazione e dell'uso della tecnologia (UTAUT) per studiare i fattori che influenzano l'accettazione dei sistemi di trasporto stradale automatizzati (ARTS) da parte degli utenti. In questa versione hanno esteso il modello UTAUT per includere gli effetti delle condizioni facilitanti e della motivazione edonica sull'intenzione di utilizzare i veicoli ARTS. I risultati dimostrano l'utilità del modello UTAUT per aumentare la nostra comprensione di come l'accettazione pubblica di questi veicoli automatizzati possa essere massimizzata. La motivazione edonica, ovvero il gradimento del sistema da parte degli utenti, ha avuto un forte impatto sulle intenzioni comportamentali di utilizzare l'ARTS in futuro; anche l'aspettativa di prestazioni, l'influenza sociale e le condizioni facilitanti hanno avuto effetti significativi. L'effetto previsto dell'aspettativa di sforzo non è emerso da questo studio.

Vanduy et al. 2012 hanno utilizzato il modello UTAUT per determinare i fattori che influenzano l'accettazione del car sharing elettrico nel contesto dei Paesi in via di sviluppo. Lo studio ha esteso la struttura UTAUT indagando l'impatto aggiuntivo della motivazione edonica e della familiarità con il concetto di carsharing sull'intenzione comportamentale. Poiché l'EC è relativamente nuovo nell'area di studio, l'esperienza degli utenti è ancora limitata, due moderatori UTAUT, la volontarietà e l'esperienza, non sono stati considerati in questo studio. I risultati indicano che la motivazione edonica (HM) ha un forte effetto sull'intenzione comportamentale (BI) di utilizzare il servizio in futuro. Anche l'aspettativa di rendimento (PE), l'aspettativa di sforzo (EE) e la familiarità con il concetto di car sharing (FM) hanno influenzato l'accettazione della CE. Tuttavia, l'impatto dell'influenza sociale (SI) non è emerso da questo studio. I risultati hanno anche rivelato che il genere modera gli effetti di EE e FM sulla BI. L'età modera l'effetto di FM sulla BI e inaspettatamente modera l'impatto di HM sulla BI.

Ye et al. (2020) hanno studiato un quadro di analisi dell'accettazione e dell'intenzione dei MaaS, basato sul modello UTAUT (Unified Theory of Acceptance and Use Technology). Il modello UTAUT in questo studio contiene otto variabili potenziali: aspettativa di performance, influenza sociale, condizione facilitante, innovazione individuale, rischio percepito, aspettativa di sforzo, intenzione comportamentale e atteggiamento verso il comportamento (che viene considerato al posto del costrutto "comportamento d'uso"). Si suppone che tutte le variabili, tranne la condizione facilitante, influenzino l'intenzione comportamentale; si presume invece che l'intenzione comportamentale influenzi l'atteggiamento. Questo studio considera come variabili moderatrici l'età, il sesso, l'istruzione, l'esperienza associativa e il possesso di un'auto familiare. In base ai risultati dell'analisi, per gli utenti di sesso maschile e femminile, le principali differenze si riflettono nell'aspettativa di sforzi per anticipare l'impatto sull'intenzione di comportamento. L'intenzione di comportamento ha un impatto significativo sull'atteggiamento verso l'uso. Le differenze dovute all'età si riflettono principalmente nel fatto che la propensione all'uso delle persone di mezza età e dei giovani è maggiormente influenzata dalle aspettative di performance.

Jahanshahi ha esplorato quali fattori influenzano l'accettazione e l'utilizzo di un sistema di bike sharing di recente introduzione a Mashhad, utilizzando l'ultima versione dei modelli di accettazione tecnologica (UTAUT2) e aggiungendo il costrutto di sicurezza percepita. Inoltre, sono stati aggiunti allo studio due nuovi moderatori, il reddito e il livello di istruzione. Il genere è stato eliminato dall'elenco dei moderatori a causa delle norme dell'MBSS che consentono l'uso del sistema solo agli uomini di età superiore ai 15 anni. I risultati indicano che l'intenzione di utilizzare il sistema è stata predetta da tutti i costrutti studiati, tranne il valore del prezzo, mentre le condizioni facilitanti sono state l'unico costrutto significativo a influenzare il comportamento d'uso. I risultati non hanno supportato l'età, il reddito, l'istruzione e l'esperienza come moderatori delle relazioni tra i costrutti e l'intenzione comportamentale.

3.8 Combinazione di diversi paradigmi alternativi

3.8.1 Combinazione TAM-TPB: modello C-TAM-TPB

Inizialmente, per il modello TAM venne proposta soltanto una duplice influenza sull'atteggiamento di una persona verso l'utilizzo della tecnologia: l'utilità percepita (PU, perceived usefulness), e la facilità d'uso percepita (PEOU, perceived ease of use). Successivamente, sono stati aggiunti a questo modello l'intenzione comportamentale (Davis, 1989) e la norma soggettiva (Venkatesh & Davis, 2000). Taylor e Todd (1995b) ritenevano che la capacità di TAM di anticipare la BI dell'utente per utilizzare la nuova tecnologia e l'uso effettivo fosse stata supportata da una grande quantità di ricerche empiriche, ma il modello non includeva gli altri due fattori (norma sociale e controllo comportamentale percepito) che, come dimostrato da molti studi precedenti, avevano la capacità di influenzare l'uso effettivo della nuova tecnologia da parte dell'utente. La combinazione di TAM e TPB (C-TAM-TPB) è un modello ibrido che combina i costrutti di TPB e TAM, come mostrato nella Figura 23 (Taylor e Todd, 1995a). L'esperienza è stata incorporata in questo modello in mezzo utenti esperti e inesperti. PU, ATT verso il comportamento e PBC sono stati tutti più saliente con l'aumento dell'esperienza, mentre SN è diventato meno saliente con l'aumento esperienza (Venkatesh et al., 2003).

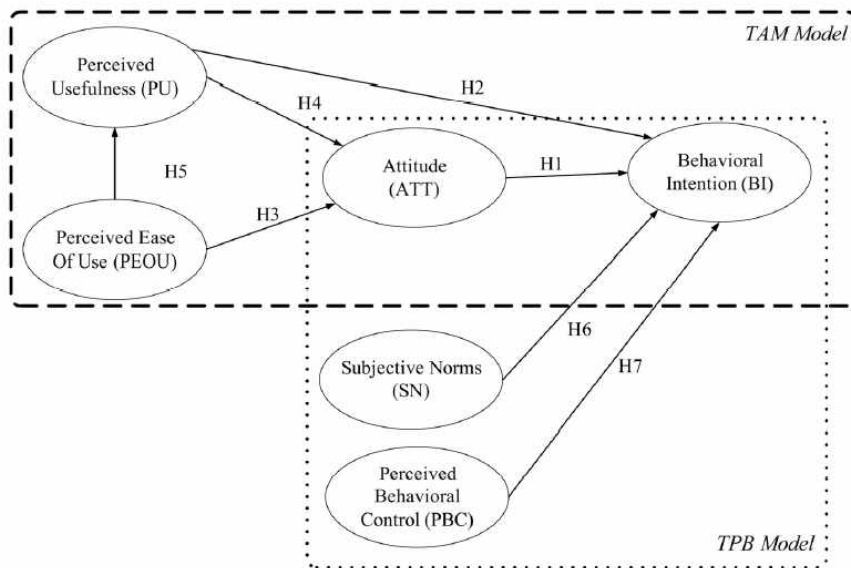


Figura 23- Technology Acceptance Model, Theory of Planned Behaviour and Combined TAM-TPB model (Taylor e Todd, 1995a)

Con l'inclusione della SN e del PBC nel TAM, Taylor e Todd, (1995a) e Chau e Hu (2002) hanno proposto di combinare il TPB e il TAM. Sulla base del risultato empirico di entrambi gli studi (Taylor e Todd, 1995a; Chau e Hu, 2002) si è scoperto che il modello C-TAM-TPB ha una grande bontà di adattamento per spiegare il comportamento dell'utente nell'utilizzo di nuove tecnologie.

3.9 PARADIGMI PENSATI PER IL SETTORE TRASPORTI

A partire dall'applicazione di queste teorie ad appositi casi studi del settore trasporti, sono stati proposti i seguenti due modelli.

3.9.1 CAR TECHNOLOGY ACCEPTANCE MODEL, CTAM

Nel contesto automobilistico l'adozione della teoria unificata dell'accettazione e dell'uso della tecnologia (UTAUT) può essere ampliata per tenere conto di altri fattori determinanti quali la sicurezza percepita e l'ansia, l'auto-efficacia e l'atteggiamento verso l'uso della tecnologia.

La Figura 24 mostra una panoramica del modello di accettazione della tecnologia nelle auto, CTAM, proposto da Osswald et al. nel 2012. Le voci grigie rappresentano i determinanti del modello originale UTAUT. Gli elementi utilizzati all'interno di questa figura riflettono i diversi costrutti determinanti che sono brevemente descritti qui di seguito. Inoltre, viene considerato il collegamento dei determinanti derivati ai costrutti e ai modelli originali.

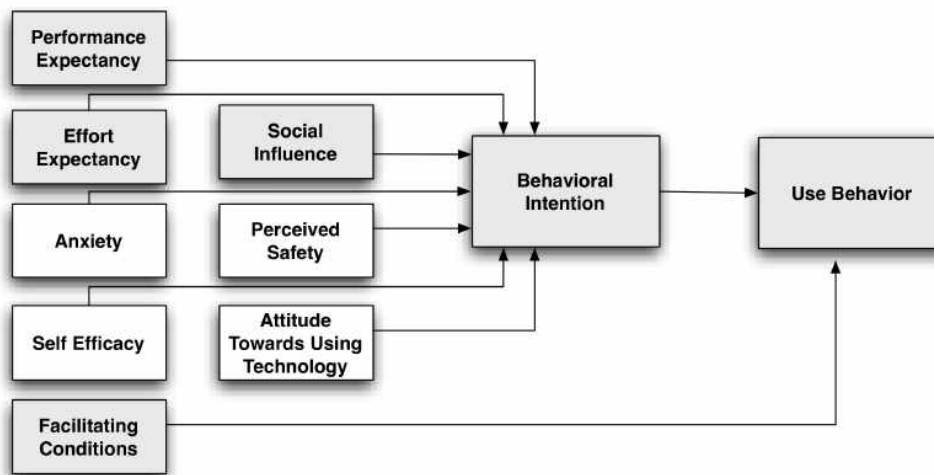


Figura 24- Car Technology Acceptance Research Model 2 (Osswald et al, 2012)

- 1) **Aspettativa di prestazione - Performance Expectancy.** L'aspettativa di prestazione è considerata come il grado in cui un guidatore crede che l'utilizzo del sistema lo aiuterà a raggiungere gli obiettivi di prestazione di guida. Intendiamo le prestazioni di guida come il completamento del proprio obiettivo individuale durante un viaggio in auto. Questo può essere un obiettivo globale come raggiungere una destinazione in modo sicuro, spendere meno carburante o energia, o un obiettivo legato al compito, come l'utilizzo di un sistema di informazione in modo da consentire il completamento di un compito efficiente ed efficace. Secondo Venkatesh et al. (2003), il costrutto dell'aspettativa di performance è il più forte predittore dell'intenzione. I costrutti utilizzati per costruire l'aspettativa di performance sono: l'utilità percepita dal TAM e il vantaggio relativo della Teoria della Diffusione dell'Innovazione.
- 2) **Aspettativa di Sforzo - Effort Expectancy.** L'aspettativa di sforzo è definita come il grado di facilità associato all'uso di un sistema. Soprattutto in auto è di importanza intrinseca essere in grado di eseguire rapidamente un compito durante la guida senza periodi di prova e di errore prolungati. Come compiti secondari rispetto alle prestazioni di guida, è obbligatorio che un sistema sia facile da usare e che l'input e l'output del sistema siano chiaramente comprensibili. Secondo Davis (1989), i costrutti orientati allo sforzo dovrebbero essere più salienti nelle prime fasi di un nuovo comportamento. Così, la valutazione dell'aspettativa di sforzo permette una

preziosa comprensione della facilità percepita nell'uso di un sistema. Due costrutti dei modelli esistenti catturano il concetto di aspettativa di sforzo: la percezione della facilità d'uso del TAM e la complessità dell'innovazione della Teoria della Diffusione.

3) **Atteggiamento verso l'utilizzo della tecnologia - Attitude Towards Using Technology.**

L'atteggiamento verso l'uso della tecnologia viene assunto come reazione affettiva complessiva dell'individuo all'uso di un sistema. Questo fattore determinante mira a riflettere le convinzioni dell'utente riguardo l'uso del sistema e ai suoi effetti. Questo fattore dipende dagli attributi dei sistemi informativi "in-car" che vanno oltre la pura funzionalità e cercano di determinare l'attitudine all'utilizzo del sistema attraverso elementi efficaci come il divertimento e la simpatia. Il costrutto che influenza l'atteggiamento verso l'uso della tecnologia è l'atteggiamento verso il comportamento dalla Teoria dell'Azione Ragionata.

4) **Influenza sociale - Social Influence.** L'influenza sociale è definita come il grado in cui un individuo crede che altre persone, la cui opinione è importante per sé stessi, la pensino allo stesso modo sull'uso di un nuovo sistema. Il costrutto sottostante è rappresentato dalla norma soggettiva dal TRA.

Venkatesh et al. (2003) sottolineano inoltre che "il ruolo dell'influenza sociale nelle decisioni di accettazione della tecnologia è complesso e soggetto ad una vasta gamma di influenze contingenti". L'influenza sociale ha un impatto sul comportamento individuale del conducente attraverso tre meccanismi: la conformità, l'internalizzazione e l'identificazione. Dal momento che l'auto e la stessa tecnologia integrata sono spesso considerati uno status simbolo, Osswald et al. (2012) ritengono che il carattere rappresentativo e le proprietà caratteristiche dell'informatica possono favorire identificazione ed evidenziare la connessione tra l'accettazione e l'ambiente sociale.

5) **Condizioni di agevolazione – Facilitating conditions.**

Le condizioni di agevolazione sono definite come il grado in cui un individuo crede che esista un'infrastruttura tecnica (come un menu di aiuto) o qualcuno (come un passeggero sul sedile anteriore) per supportare l'uso del sistema. Ciò comprende la percezione dei vincoli interni ed esterni al comportamento e delle condizioni di agevolazione della tecnologia, nonché dei fattori oggettivi che il conducente concorda nel rendere un compito facile da svolgere. In auto questo potrebbe essere interpretato come la disponibilità di uno strumento di apprendimento, un menu di aiuto per la ricerca di suggerimenti o un manuale di supporto per eseguire un certo compito.

Il costrutto di riferimento è dato dalla percezione del controllo comportamentale della TPB.

6) **Autoefficacia - Self-Efficacy.**

L'autoefficacia è definita come la fiducia di una persona nella sua capacità e competenza di utilizzare una tecnologia integrata (ad esempio la radio) per svolgere un particolare compito. Nel contesto automobilistico, le persone con un'elevata autoefficacia - quelle che credono di poter svolgere bene il proprio lavoro - sono più propense a considerare un compito difficile come qualcosa da padroneggiare piuttosto che come qualcosa da evitare. Allineando i risultati di questo costrutto con i risultati del costrutto della sicurezza percepita, Osswald et al. (2012) ritengono che questo fornisca una visione interessante di come un compito legato al sistema informativo viene giudicato in base alle caratteristiche di personalità degli utenti. Tale costrutto è il fattore determinante della teoria sociale cognitiva.

7) **Ansia - Anxiety in the Car Context.**

Ohman (2000) sottolinea l'influenza negativa dell'ansia. Chi è ansioso può essere meno capace di gestire una situazione complessa in cui l'attenzione deve essere divisa su diversi oggetti o eventi. Per quanto riguarda il settore automobilistico, l'ansia sembra avere un'importante influenza sulla sicurezza nel traffico. Secondo Spielberger et al. (1970), l'aspetto ansioso è definito come il grado in cui una persona risponde alle situazioni con apprensione e disagio. Tra i primi a prendere in considerazione questa definizione riguardo l'ansia da traffico vi sono stati Ford e Alverson-Eiland (1991). Essi hanno indagato gli effetti dell'ansia sulle prestazioni di un corso di moto, concludendo che l'ansia sembra essere un fattore moderatamente influente nel prevedere le prestazioni. Banuls et al. (1996) hanno indagato la relazione tra il coinvolgimento in un incidente e l'ansia professionale e i piloti alle prime armi. I risultati hanno mostrato che per i piloti alle prime armi, un comportamento ansioso in quelle situazioni che implicano una complessiva valutazione della guida può essere collegato ad un aumento del rischio di incidente, mentre per i conducenti professionisti le situazioni più rischiose

si verifica quando si hanno comportamenti ansiosi in situazioni che comportano ritardi o impedimenti.

Groeger (1997) ha studiato le relazioni tra i conducenti, il loro umore e la loro performance di guida, considerando l'ansia come uno stato d'animo speculare (a seguire alla depressione e all'ostilità). Lo studio ha dimostrato che quelli che erano più ansiosi guidavano peggio dei partecipanti meno ansiosi. L'ansia riguarda anche la privacy e problemi di sicurezza dei dati (ad esempio, monitoraggio GPS, accesso al telefono cellulare).

L'ansia è un fattore che è stato esaminato anche all'interno del modello originale UTAUT (Venkatesh et al. 2003) ma è stato scartato perché ritenuto non determinante. Il costrutto usato era basato su fattori presi in prestito dalla Teoria Cognitiva Sociale (SCT) (Bandura, 1986). Quest'ultima descrive l'ansia come una condizione che evoca reazioni emotive quando si tratta di mostrare un comportamento. Data la forte connessione emersa dagli studi precedenti tra l'ansia e la guida, per il modello in esame l'ansia sembra essere un fattore determinante per l'accettazione nel contesto automobilistico, assumendo che essa abbia un effetto diretto sull'intenzione di utilizzo.

Nel contesto automobilistico in esame viene definita l'ansia come il grado in cui una persona risponde a una situazione con apprensione, disagio o sensazione di eccitazione.

- 8) Sicurezza percepita – Perceived Safety.** La sicurezza percepita è fondamentale quando si guida un'auto. In uno studio pilota, Alm e Lindberg (2000) hanno dimostrato che il rischio di incidente percepito e il rischio di violenza sono legati a sentimenti di sicurezza e preoccupazione associati a modalità di trasporto differenti (come ad esempio auto, taxi, autobus urbani). I fattori emotivi e gli stati d'animo possono migliorare o ridurre la sicurezza nel traffico (Eyben et al., 2010; Mesken, 2002). Nass et al. (2005) hanno dimostrato che una corrispondenza tra l'emozione dell'utente e l'emozione della voce dell'auto porta a meno incidenti e più attenzione sulla strada. Takayama & Nass (2008) hanno scoperto che un maggiore coinvolgimento con i sistemi in auto rispetto ai sistemi wireless porta ad un comportamento di guida più sicuro.

Insieme a questo emerso dagli studi di letteratura Osswald et al. (2012) hanno ipotizzato che vi possano essere delle prove di eventuali problemi di sicurezza negli studi che si occupano delle nuove tecnologie dell'informazione in auto. Sulla base dello studio effettuato sulla tecnologia interattiva in auto in modo olistico (Meschtscherjakov et al., 2011) attraverso l'applicazione di vari metodi per affrontare i problemi di sicurezza, Osswald et al. (2012) hanno deciso di esaminare uno studio di accettazione della tecnologia condotto in precedenza (Osswald et al., 2011), per cercare le prove dell'importanza di un fattore di sicurezza percepita. Lo studio stesso è stato progettato per misurare l'accettazione della tecnologia di nuove modalità di input nell'auto con l'aiuto di un questionario. Questo questionario seguiva la struttura del TAM originale, adattato al contesto automobilistico. Alla fine del questionario, ai partecipanti è stato fornito un campo per lasciare commenti di qualsiasi tipo. Dei 114 commenti raccolti il 29% riguardava le preoccupazioni relative alla distrazione che potrebbe essere causata dal sistema. Il 27% dei commenti riguardava preoccupazioni esplicite sulla sicurezza, ovvero che l'uso del sistema potesse essere pericoloso. L'elevato numero di commenti relativi alla sicurezza (circa un terzo di tutti i commenti) sottolinea l'importanza di questo fattore nel contesto di guida e accettazione, ragion per cui si è deciso di aggiungere questo fattore al CTAM.

La sicurezza percepita viene definita come il grado in cui un individuo crede che l'uso di un sistema influisca sul suo benessere, considerando il carattere autoriflessivo della percezione di una situazione pericolosa. All'interno dell'auto, questo comprende anche il giudizio delle proprie capacità di guida e la sensazione di sicurezza in relazione agli altri guidatori. L'impatto della sicurezza percepita è considerato critico nel processo di previsione dell'intenzione comportamentale da utilizzare, in quanto l'utente valuterà l'effetto potenziale delle conseguenze legate alla sicurezza attraverso l'uso di una tecnologia informatica durante la guida.

3.9.2 AUTONOMOUS VEHICLE ACCEPTANCE MODEL

L'AVAM è un adattamento dell'UTAUT (Venkatesh et al. 2003) e della CTAM (Osswald et al. 2012) per le tecnologie dei veicoli autonomi. Il modello in esame incorpora nove fattori: aspettativa di prestazione, aspettativa di sforzo, atteggiamento verso la tecnologia, influenza sociale, condizioni di agevolazione, autoefficacia, ansia e intenzione comportamentale (per utilizzare il sistema) e sicurezza percepita.

Come nel CTAM, l'ansia, l'autoefficacia, l'atteggiamento verso la tecnologia e la sicurezza percepita sono diretti determinanti dell'intenzione comportamentale di utilizzare i veicoli autonomi, a differenza dell'UTAUT dove solo l'aspettativa di Prestazione, l'aspettativa di Sforzo e l'influenza sociale sono considerati tali. La motivazione per l'inclusione di questi fattori aggiuntivi per le tecnologie relative alle automobili è fornita da Osswald et al. (2012). Un diagramma a blocchi dell'AVAM è mostrato in Figura 25.

L'adattamento dell'AVAM da questi modelli consolidati fornisce un grado di validità implicita. I costrutti all'interno di tale modello sono trasferibili al dominio dei veicoli autonomi, ma un adattamento standardizzato è di fondamentale importanza. In pratica la differenza tra CTAM e AVAM risiede negli items del questionario, rappresentativo di ciascuna delle 9 voci che figurano nel modello e che influenzano l'intenzione comportamentale.

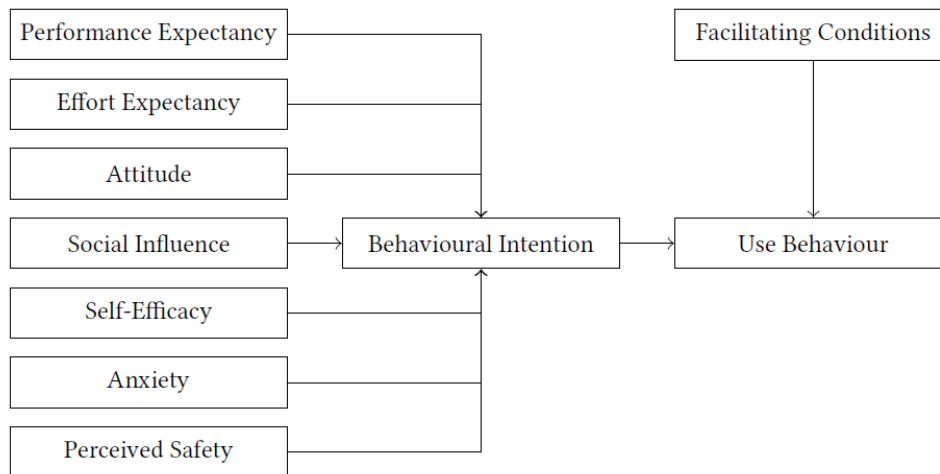


Figura 25- Vehicle Acceptance Model (Hewitt et al, 2019)

4 ANALISI PRELIMINARI DEI DATI E CALIBRAZIONE DI MODELLI DI SCELTA DISCRETA: INQUADRAMENTO METODOLOGICO

4.1 Analisi preliminari

L'interpretazione e la modellazione delle scelte degli utenti, indipendentemente dai paradigmi interpretativi e teorici utilizzati, ed indipendentemente dal contesto applicativo investigato, sono delle azioni che richiedono una apposita analisi dei dati.

Con l'espressione analisi dei dati possiamo indicare l'applicazione metodologica di funzioni matematiche, statistiche e logiche per la manipolazione, l'organizzazione, la pulizia, la presentazione dei dati in diverse forme e la loro valutazione per derivare utili indicazioni a supporto delle decisioni.

I primi accenni di quello che possiamo afferire essere un processo di analisi dei dati, emergono tra il XVIII e il XIX secolo, quando gli economisti Charles Joseph Minard e William Playfair utilizzano i dati relativi all'import-export dei generi alimentari del Regno Unito, del cotone in Europa e alla campagna di Russia di Napoleone per creare delle analisi quantitative di comparazione e di visualizzazione di informazioni numeriche.

Venendo a tempi più recenti, l'utilizzo della matematica e della statistica, insieme al crescere della potenza computazionale dell'hardware, ha contribuito a diffondere metodologie che mirano a replicare l'intelligenza umana per estrarre informazioni utili nell'analisi dei dati. Possiamo dunque dire, in generale, che questa sfrutta tutte le conoscenze logiche e tecnologiche in modo da supportare efficacemente le decisioni future e comprendere al meglio cosa sia accaduto nel passato.

Esistono una moltitudine di fasi e attività che insieme concorrono alla formazione del processo di analisi dei dati nella sua interezza. Alcune di queste a volte vengono svolte solo in parte, altre invece sono maggiormente importanti e "time-consuming" in alcune tecniche e contesti piuttosto che in altri; di seguito vengono riportate le principali:

- Requirement Gathering → La fase primordiale del processo di analisi dei dati non può prescindere da un'attenta e chiara definizione di quello che è il problema, il bisogno, la necessità che l'analisi stessa ha come obiettivo. Identificare le informazioni desiderate e il valore che l'analisi deve apportare, aiuta a guidare le fasi successive che stanno a valle; Questo primo passo, aiuta anche a direzionare la scelta della migliore metodologia e degli opportuni strumenti da utilizzare.
- Data Collection → Basandosi su quello che è l'output di una prima fase, si passa alla raccolta dei dati necessari per poter soddisfare le esigenze finali, i comportamenti che si vogliono valutare e agli aspetti che si devono misurare. I dati vengono collezionati da una varietà di sorgenti (Database, sensori, website feed, indagini, esperimenti...) contenenti informazioni sia strutturate che non.
- Data Processing → Dopo aver collezionato i dati dalle sorgenti, questi devono essere processati e organizzati opportunamente per essere utilizzati in fase di analisi. In questo momento vengono applicate misure quali i controlli di integrità referenziale o la conversione dei dati in un formato utile alle lavorazioni successive.
- Data Cleansing → Una volta organizzati e processati, i dati possono risultare incompleti, contenere duplicati o errori. Per fare in modo che i risultati generati dall'analisi che si sta preparando siano coerenti e affidabili è importante prevedere iniziative di pulizia dei dati a disposizione.
- Analysis/Communication → Puliti e organizzati, i dati sono pronti per la vera e propria fase di analisi. A seconda di quelle che sono le tecniche scelte, questo step può essere approcciato in maniera profondamente differente. Quello che però accomuna questi diversi modi di affrontare il problema è la comunicazione verso gli stakeholder che sono interessati o hanno direttamente commissionato l'analisi dati in questione: le informazioni possono essere riportate in diversi formati per rispondere ai requisiti iniziali. Per fare questo, spesso vengono applicate diverse metodologie di Data Visualization in modo da guidare la comunicazione dei messaggi chiave contenuti nelle informazioni analizzate.

I diversi metodi che possono essere utilizzati per analizzare i dati rientrano generalmente in due macrogruppi: le analisi quantitative e quelle qualitative. Le prime sono quelle dove l'informazione è espressa numericamente, può essere utilizzata di conseguenza in calcoli di diversa natura e può essere rappresentata tramite tabelle o grafici. Esse quindi forniscono indicazioni su come classificare le possibili cause di problemi, o quantificare il loro impatto, ma non ci dicono direttamente come e quale problema affrontare per primo. Il secondo macrogruppo di analisi risponde a domande del tipo "come, perché, cosa" in forma testuale e danno la possibilità di definire un problema e delle azioni per affrontare il problema stesso.

Tra le metodologie più diffuse, l'analisi descrittiva o statistica applica tutti i passi sopra menzionati per fornire un disegno onnicomprensivo di quello che è accaduto nella storia dei dati raccolti.

Una corretta conoscenza dei dati a disposizione è un elemento imprescindibile per poter applicare qualunque metodo modellistico utile ad interpretare e riprodurre le scelte degli utenti. Per tale motivo, questo paragrafo è dedicato a presentare, da un punto di vista metodologico, i test statistici necessari per l'applicazione dei modelli proposti nell'ambito di questo lavoro (modelli di scelta discreta, modelli ibridi di scelta, modelli ad equazioni strutturali).

La statistica è una disciplina che ha come fine lo studio quantitativo e qualitativo di un particolare fenomeno collettivo in condizioni di non completa conoscenza di esso o di una sua parte. Dunque, la statistica trova la sua utilità proprio per via della variabilità naturale; Essa ci fornisce i metodi per descrivere il soggetto "medio", il soggetto "tipo", per valutare quanto la sua descrizione somigli o meno alle altre persone e per decidere in che misura si possano generalizzare i risultati ottenuti studiando pochi soggetti e applicarli all'intera popolazione di nostro interesse. A tal proposito si distinguono i concetti di statistica descrittiva ed inferenziale. La statistica descrittiva riguarda la presentazione, l'organizzazione e la sintesi dei dati. La statistica inferenziale invece permette di generalizzare i risultati ottenuti dai dati raccolti a partire da un piccolo campione ad una popolazione più ampia.

Una variabile è ciò che viene osservato e misurato e che varia nella popolazione statistica. La sua rappresentazione (in genere numerica) individua i nostri dati. Un dato può essere discreto, se proviene da un insieme limitato, o continuo, se proviene da un insieme illimitato.

I dati sono generati da osservazioni o misure di una variabile. Il tipo di una variabile e/o la modalità di osservazione o misura determinano il tipo di dati generati, che possono essere dati discreti o dati continui. Esistono diverse tipologie di variabili.

- La variabile nominale consiste in categorie indicate con nomi distinti, tra le quali non è possibile stabilire un criterio di ordinamento logico.
- La variabile ordinale consiste in una serie ordinata di categorie. La differenza tra queste categorie non è costante; la scala Likert è un esempio di variabile ordinale.
- La variabile di intervallo presenta differenze costanti tra i suoi valori. Nella variabile di intervallo il valore zero è arbitrario: lo zero della scala non indica assenza dell'attributo. Lo zero arbitrario rappresenta una convezione e non l'assoluta assenza del fenomeno. Per la variabile di intervallo è possibile stabilire un ordinamento tra le classi; è possibile calcolare la distanza tra due osservazioni, ma non il rapporto.
- La variabile di rapporto presenta differenza costante tra i suoi valori e uno zero dotato di significato. La variabile di rapporto assume valori numerici e consente confronti sia per differenza che per rapporto tra le modalità che le unità assumono. Dunque oltre che ad ordinare e confrontare le differenze, è possibile rapportare in termini proporzionali i valori assunti dalle diverse unità. Lo zero dotato di significato indica uno zero assoluto, ovvero l'assoluta assenza del fenomeno.

In generale la prima fase dell'analisi dei dati consiste nell'elaborare delle rappresentazioni grafiche ad alto contenuto informativo e con il calcolo di alcuni indici rappresentativi dei dati campionari:

- parametri di numerosità di occorrenza (frequenze)
- parametri di tendenza centrale (indici di valori più "frequenti/probabili")
- parametri di dispersione (indici di variabilità dei dati);
- parametri di simmetria dei dati rispetto al valore centrale (skewness) e di forma della distribuzione dei dati (kurtosis).

Questa prima fase di analisi è importante per diversi motivi:

- individuare eventuali errori o dati mancanti

- individuare ed eliminare eventuali outliers (valori anomali)
- determinare cambi di strategie di campionamento o di numerosità del campione
- valutare se i dati a disposizione sono compatibili con il tipo di test statistici che avevamo in mente di usare

In pratica i dati sono rappresentati in forma tabellare e/o grafica.

In particolare il presente paragrafo è dedicato soprattutto alla statistica descrittiva, mentre il successivo si concentra sul calcolo di alcuni indici e test di natura inferenziale.

La frequenza è un parametro di numerosità di occorrenza. In statistica si definiscono 2 tipi di frequenze: la frequenza assoluta (o semplicemente frequenza) e la frequenza relativa. Per frequenza assoluta si intende “il numero di volte in cui una determinata modalità si presenta nel collettivo osservato”, mentre la frequenza assoluta “è la proporzione con cui la modalità si presenta nel collettivo osservato” o “il rapporto fra la frequenza ed il numero di osservazioni”.

Una lettura immediata dei dati è quella grafica. In base alla tipologia di variabili con cui abbiamo a che fare i diagrammi realizzabili per rappresentare il concetto di frequenza sono differenti. In linea di massima per variabili qualitative (nominali o ordinali) si ricorre a grafici a barre o circolari, per variabili quantitative si ricorre a istogrammi o poligoni di frequenza.

Grafici a barre e istogrammi consistono in una serie di barre rettangolari la cui dimensione è proporzionale al numero di soggetti che presentano la stessa modalità della variabile in studio. La principale differenza tra i due tipi di grafici risiede nel fatto che nei grafici a barre i dati presentati sono categorici e possono esserci spazi tra le barre, mentre negli istogrammi i dati presentati sono continui e le barre devono essere contigue. Per essere più precisi, in genere, il valore di altezza di ciascun rettangolo dell’istogramma non è dato dalla frequenza assoluta di ciascuna classe, ma più spesso dalla densità di frequenza. Essa si definisce come il rapporto tra la frequenza di una classe e la rispettiva ampiezza.

Una volta ottenuti i dati di un determinato campione sarebbe utile poter riassumere gli stessi in pochi numeri, al fine di poter provvedere ad una rapida descrizione di un campione

Gli indici di tendenza centrale consistono in valori “tipici” che possono essere utilizzati per riassumere i dati osservati. Ne esistono di differenti tipi a seconda della tipologia di variabile a cui ci si sta riferendo.

- Per le variabili di intervallo o di rapporto si fa riferimento alla media.
- Per le variabili ordinali si fa riferimento alla mediana, che corrisponde al valore cui metà delle osservazioni è inferiore e metà delle osservazioni è superiore. Si noti che vi sono situazioni in cui vale la pena di usare la mediana invece della media anche con dati di intervallo e di rapporto. Se i dati non sono distribuiti in modo simmetrico, ad esempio, la mediana ci darà un’idea dei dati più corretta di quella che ci darebbe la media.
- Per le variabili nominali si fa riferimento alla moda, che corrisponde alla categoria che si presenta con maggiore frequenza tra le osservazioni. Per il calcolo della moda occorre determinare le frequenze di ogni categoria (distribuzione). La moda non è necessariamente univoca. Un insieme di dati può presentarsi con una distribuzione unimodale (moda univoca) o multimodale (ad es. bi- o tri-modale), e in questo caso si hanno valori multipli per la moda.

Gli indici di dispersione, invece, consentono di avere un’idea di quanto i dati si raggruppino strettamente intorno alla misura di tendenza centrale.

Anche gli indici di dispersione si distinguono a seconda della tipologia di variabili. Per le variabili nominali si considera l’indice di dispersione, per le variabili ordinali si considerano l’intervallo minimo-massimo (range) e i quartili, mentre per le variabili di intervallo o di rapporto si considerano lo scarto medio, la varianza e la deviazione standard.

Con i dati di intervallo e di rapporto possiamo usare altri due indici per descrivere la distribuzione dei dati: l’asimmetria e la curtosi. Tali indici vengono spesso considerati per capire se una distribuzione è normale.

Uno degli indici di normalità di una distribuzione è la simmetria (indicata anche con il termine di skewness).

Per misurare la simmetria di una distribuzione vengono utilizzati il coefficiente inter-quartilico di asimmetria e/o la skewness di Pearson.

- Il coefficiente inter-quartilico di asimmetria è pari a

$$Coeff. inter-quartili = \frac{(Q3 - Q2)}{(Q2 - Q1)} \quad (4.1)$$

In cui Q1 e Q3 rappresentano rispettivamente il primo ed il terzo quartile, mentre Q2 rappresenta la media.

- La skewness di Pearson è pari a:

$$S_k = \frac{\text{Media} - \text{Moda}}{\text{Dev. standard}} \quad (4.2)$$

Si tratta di un indice normalizzato, che assume valori nell'intervallo [-1, +1].

- Se $S_k > 0$ c'è asimmetria positiva (la distribuzione è obliqua a destra, ovvero coda lunga a destra) e frequenze più elevate si rilevano in corrispondenza della prima metà del campo di variazione
- Se $S_k = 0$ c'è simmetria.
- Se $S_k < 0$ c'è asimmetria negativa (la distribuzione è obliqua a sinistra, ovvero coda lunga a sinistra) e frequenze più elevate si rilevano in corrispondenza della seconda metà del campo di variazione.

Un altro indice di normalità di una distribuzione è l'indice di Curtosi, (o di appiattimento) dato dalla seguente formula:

$$k = \frac{\sum \frac{(x - \bar{x})^4}{n}}{\left[\sum \frac{(x - \bar{x})^2}{n} \right]^2} \quad (4.3)$$

In cui x sono tutti i valori della variabile, \bar{x} è il valore della media, n è il numero di osservazioni.

- una curva con distribuzione normale presenta un indice di curtosi $k = 3$
- Se $k > 3$ si ha una curva leptocurtica, più appuntita
- Se $k < 3$ si ha una curva platicurtica, più piatta

Queste grandezze sono le grandezze tipiche utilizzate per la statistica descrittiva. Nei paragrafi che seguono vengono invece discussi alcuni test statistici, la cui conoscenza risulta non trascurabile quando ci si appropria a ricorrere ai modelli di scelta, più o meno complessi che siano.

4.1.1 Test statistici di base

Come già accennato, la statistica inferenziale si occupa di stabilire con quale probabilità un'ipotesi formulata su un campione possa essere estesa all'intera popolazione, attraverso un test statistico.

Si parla di test delle ipotesi quando, data una certa ipotesi sulla popolazione, analizzando un campione, si stabilisce la verità o la falsità dell'ipotesi con una certa probabilità (con un dato valore di significatività). Si parla di ipotesi proprio perché a priori non sappiamo se sia vera o meno: il nostro interesse è proprio quello di determinare se i valori di un campione e l'ipotesi fatta (sulla popolazione) siano compatibili oppure no.

Il momento fondamentale nella verifica delle ipotesi è la formalizzazione delle alternative. Le ipotesi assumibili sono essenzialmente due: una che contiene la nostra assunzione e l'altra che la nega. Esse sono indicate come:

- H_0 = ipotesi nulla \rightarrow è un'affermazione riguardo alla popolazione che si assume essere vera fino a che non ci sia una prova evidente del contrario (status quo, mancanza di effetto etc.). È l'ipotesi che vogliamo rifiutare, a favore dell'ipotesi alternativa (che è la nostra ipotesi di ricerca).
- H_1 = ipotesi alternativa \rightarrow è un'affermazione riguardo alla popolazione che è contraria all'ipotesi nulla e che viene accettata solo nel caso in cui ci sia una prova evidente in suo favore. È l'ipotesi

che vogliamo verificare; tale ipotesi si accetta solo dopo aver rifiutato l'ipotesi nulla perché è quest'ultima ad essere sottoposta a verifica.

La prima, se verificata ed accettata, indicherà che le differenze che esistono tra il dato sperimentale (S = statistica campionaria) e l'assunzione fatta sul parametro dell'universo (θ = parametro incognito) sono casuali: sono dovute a fluttuazioni campionarie e, quindi, ininfluenti. La verifica sull'ipotesi nulla viene effettuata ricorrendo a test statistici che consentono di accettare o respingere l'ipotesi nulla con un prefissato rischio di errore (α) espresso in termini di probabilità.

L'ipotesi alternativa rappresenta la conclusione a cui si giunge quando si rifiuta l'ipotesi nulla (decisione forte), cioè quando il campione osservato fornisce sufficiente evidenza del fatto che l'ipotesi nulla sia falsa. D'altro canto il mancato rifiuto dell'ipotesi nulla non prova che essa sia vera. Quello che si può concludere è che non vi è sufficiente evidenza empirica contraria ad essa (decisione debole).

L'insieme dei valori che il test può assumere al variare dei campioni nell'universo campionario viene diviso in due parti:

- una che contiene tutti quei valori per i quali H_0 è accettabile;
- una che contiene tutti quei valori per i quali H_0 è rifiutata

La regione, di ampiezza $(1-\alpha)$, che contiene valori per i quali H_0 è accettabile è detta regione di accettazione, A , mentre quella, di ampiezza (α) , che contiene valori per i quali H_0 è rifiutata è detta regione di rifiuto, R .

È possibile effettuare molte tipologie di test delle ipotesi, ma soltanto quelli utilizzati verranno richiamati in questo lavoro.

È importante effettuare una distinzione in due gruppi: test parametrici e test non parametrici o distribution free. I test parametrici sono particolari test per i quali, prima di applicarli, devono essere verificate delle ipotesi stabilite a priori generalmente sulla distribuzione di una variabile. I test non parametrici invece non hanno ipotesi a priori da verificare e possono essere sempre applicati. Tuttavia nel caso in cui le ipotesi dei test parametrici siano soddisfatte è preferibile utilizzare questi test data la maggior potenza, cioè a parità di numerosità campionaria sono in grado di evidenziare differenze più piccole come significative.

L'applicabilità dei metodi parametrici è condizionata da alcune assunzioni:

- Variabili continue
- Indipendenza fra media e varianza, ovvero l'errore di misura deve essere indipendente dal valore misurato
- Non sono ammessi outliers (valori estremi) fra i dati del campione;
- Variabili distribuite in modo (approssimativamente) normale;
- Omoschedasticità o omogeneità delle varianze; Le varianze della variabile dipendente nei gruppi messi a confronto devono essere più o meno uguali.

A seconda del confronto che si intende realizzare verrà utilizzato un tipo o l'altro di test parametrico:

- Il t-test per un solo campione si propone di verificare se la media di una popolazione differisca in modo significativo da un dato valore, noto o ipotizzato.
- Il t-test per due campioni indipendenti si utilizza quando occorre confrontare le medie di due popolazioni indipendenti, ovvero se gli individui di una delle due popolazioni siano diversi dagli individui dell'altra.
- Il t-test per due campioni appaiati è un test alternativo per il confronto di due medie. Si utilizza quando si presume che le due popolazioni non siano indipendenti ma correlate. Questa situazione si verifica, ad esempio, quando si intende osservare un gruppo di persone prima e dopo un determinato intervento.
- Il test ANOVA (analisi della varianza) per più di due campioni indipendenti si utilizza nel caso in cui sia necessario confrontare più di due campioni. Si tratta di un test statistico ideato per confrontare in modo simultaneo le medie di più di due popolazioni.

La modellazione delle scelte degli utenti tramite i modelli di scelta discreta o tramite i modelli ibridi, come verrà meglio definito nei paragrafi successivi, prevede che la stima dei parametri avvenga applicando il metodo della massima verosimiglianza, che presuppone per il campione una distribuzione normale delle variabili considerate. Inoltre, l'estendibilità dei parametri calibrati dal campione alla popolazione richiede, in fase di validazione del modello, la verifica della statistica t-student (discussa nel paragrafo 4.3.1 per campione singolo e per due campioni appaiati).

Per la verifica della normalità ci si può avvalere del test di Shapiro-Wilk (1965), tuttavia, l'ipotesi di normalità è necessaria solo per campioni di piccole dimensioni. Per campioni di grandi dimensioni, la distribuzione campionaria della media è sempre normale, indipendentemente da come sono distribuiti i valori nella popolazione. Questo fenomeno è noto come teorema del limite centrale. In termini semplicistici per il teorema del limite centrale, la somma di un numero elevato di variabili aleatorie indipendenti (o in maniera equivalente della media), tende ad avere distribuzione approssimativamente normale. Questo significa che la distribuzione di alcune statistiche (per esempio la media del campione) diventa nota, anche se non sappiamo nulla a proposito della forma della distribuzione della popolazione da cui i campioni sono stati tratti. Naturalmente il termine "grande" è relativo. Tanto più la distribuzione della popolazione è diversa dalla normale, tanto maggiore deve essere la dimensione del campione affinché sia sensato applicare il teorema del limite centrale. La regola euristica è che un campione con $n \geq 30$ sia sufficientemente grande da giustificare l'applicazione del teorema del limite centrale.

4.1.2 Test non parametrici

I test non parametrici sono utilizzati quando si verifica una delle seguenti tre condizioni:

- le variabili hanno evidenti scostamenti dalla normalità (o sono fortemente asimmetriche o presentano più di un picco);
- quando il campione è troppo piccolo per comprendere se esiste una distribuzione normale dei dati
- quando le osservazioni sono rappresentate da classifiche ordinali

Per la maggior parte, questi metodi sono fondati sulle statistiche di rango⁵ o d'ordine; non utilizzano la media, ma la mediana come misura della tendenza centrale;

I test non parametrici possono essere suddivisi in:

- Test per 1 campione
- Test per due campioni dipendenti, effettuati per verificare eventuali variazioni all'interno del campione dopo aver effettuato uno specifico trattamento
- Test per due campioni indipendenti
- Test per k campioni dipendenti
- Test per k campioni indipendenti
- Test per l'associazione, la valutazione delle tendenze, la correlazione e la regressione.

In questo paragrafo viene dedicata attenzione ai test per due o più campioni indipendenti (test di Mann Whitney e test di Kruskal-Wallis, rispettivamente) che sono stati implementati per il lavoro in esame.

Il Test di Kruskal-Wallis (1952) è un metodo non parametrico per verificare l'uguaglianza delle mediane di diversi gruppi, ovvero per verificare che tali gruppi provengano da una stessa popolazione (o da popolazioni con uguale mediana). Questo metodo è il corrispondente non parametrico dell'analisi di varianza in cui i dati vengono sostituiti dal loro rango, e viene

solitamente usato quando non può essere assunta una distribuzione normale della popolazione.

L'ipotesi nulla è che i 3 o più campioni estratti da una singola popolazione abbiano la stessa tendenza centrale, di conseguenza, è richiesto che i tre set di misure siano indipendenti e che le scale siano almeno ordinali.

Il test determina se le mediane di tre o più gruppi sono diverse. Come per la maggior parte dei test statistici, si calcola una statistica di prova e la si confronta con un punto limite della distribuzione. La statistica di prova utilizzata in questo test è chiamata statistica H, definita come:

$$H = \left[\frac{12}{n(n+1)} \sum_{j=1}^c \frac{T_j^2}{n_j} \right] - 3(n+1) \quad (4.4)$$

Dove:

⁵ Il rango di X_i è la sua posizione in una sequenza ordinata; $R_i = R(X_i) = n$. di osservazioni campionarie $\leq X_i$. Esempio: $X=[15, 3, 7, 18]$ $R=[3, 1, 2, 4]$; Alle osservazioni coincidenti ("ties") si assegna il rango medio osservato. Esempio: $X=[15, 7, 7, 18]$ $R=[3, 1.5, 1.5, 4]$

- n = somma delle dimensioni del campione per tutti i campioni,
- c = numero di campioni,
- T_j = somma dei ranghi del j -esimo campione,
- n_j = dimensione del j -esimo campione.

Le ipotesi per il test sono:

H_0 : le mediane della popolazione sono uguali.

H_1 : le mediane della popolazione non sono uguali.

Il test di Kruskal Wallis indica se esiste una differenza significativa tra i gruppi. Tuttavia, non indica quali gruppi sono diversi. Per questo è necessario eseguire dei test successivi.

Il test di Kruskal Wallis si pone come un'estensione del test U di Mann-Whitney (anche noto come test Wilcoxon–Mann–Whitney, 1947), che è l'equivalente non parametrico del test t a due campioni. Il test confronta due popolazioni. L'ipotesi nulla per il test è che vi sia una probabilità del 50% che un membro della prima popolazione, estratto a caso, superi un membro della seconda popolazione. Un'altra opzione per l'ipotesi nulla è che i due campioni provengano dalla stessa popolazione (cioè che abbiano entrambi la stessa mediana).

Il risultato dell'esecuzione di un test U di Mann Whitney è la statistica U. Per campioni piccoli, si può usare il metodo diretto per trovare la statistica U; tale metodo diretto si articola in 4 step:

1. Nominare il campione con i ranghi più piccoli "campione 1" e il campione con i ranghi più grandi "campione 2". La scelta del campione con i ranghi più piccoli come "campione 1" è facoltativa, ma rende il calcolo più semplice.
2. Prendere la prima osservazione del campione 1. Contare quante osservazioni del campione 2 sono più piccole di essa. Se le osservazioni sono uguali, contarle come una metà. Ad esempio, se si hanno dieci osservazioni minori e due uguali: $10 + 2(1/2) = 11$.
3. Ripetere il passaggio 2 per tutte le osservazioni del campione 1.
4. Sommare tutti i totali dei passaggi 2 e 3. Questo è il risultato della statistica U.

Questo metodo è limitato solo dalla quantità di calcoli che si desidera eseguire. Più grande è il campione, più complessa è la matematica. Per campioni piccoli, si può usare il metodo diretto per trovare la statistica U; per campioni più grandi, è necessario ricorrere alla seguente formula:

$$U_1 = R_1 - \frac{n_1(n_1 + 1)}{2} \quad (4.5 \text{ a})$$

$$U_2 = R_2 - \frac{n_2(n_2 + 1)}{2} \quad (4.5 \text{ b})$$

Entrambe le formule sono valide per il test U di Mann Whitney. R è la somma dei ranghi nel campione e n è il numero di articoli nel campione.

Anche nel caso di questo test la statistica ottenuta va confrontata con il test di riferimento.

I valori critici sono tabellati⁶ e dipendono dalla numerosità del campione più piccolo (n_1) e dalla numerosità del campione più grande (n_2).

4.1.3 Supporto alla modellazione delle scelte: analisi fattoriale

Come già anticipato nel capitolo 2, nei modelli ibridi di scelta si considera l'incidenza di fattori psicoattitudinali nella definizione delle scelte degli utenti. La cosa è resa possibile tramite l'introduzione di variabili latenti, che modellisticamente introducono una rappresentazione dei suddetti fattori psicoattitudinali, nella funzione di utilità di specifiche alternative di scelta.

⁶ I possibili valori di riferimento, in questo caso, hanno una natura discreta, il che implica l'impossibilità di determinare sempre i valori critici associati esattamente al livello di significatività voluto (generalmente $\alpha=0,05$)

Negli ultimi decenni il concetto di variabile latente ha riscosso un enorme successo nelle discipline statistiche, dando luogo ad una vasta letteratura sia di indirizzo teorico, sia in campo applicativo. In particolare, nelle scienze sociali e in psicomètria, l'uso del concetto di variabile latente è stato largamente adottato per far fronte al problema di misurare quantità che, in natura, non possono essere direttamente osservate.

Il passaggio dalle variabili osservate a quelle latenti non è mai un processo banale e richiede una particolare attenzione, considerando il fatto che gli indicatori osservabili sono solo approssimazioni dei costrutti latenti. Tale passaggio, dal punto di vista formale, avviene tramite ricorso all'analisi fattoriale esplorativa e/o confermativa. Il primo autore ad introdurre il concetto di variabile latente è stato Charles Spearman (1904) per definire il concetto di intelligenza generale. Nonostante il lavoro di Spearman sia considerato come il punto di partenza per l'analisi fattoriale, fu a partire dalla metà del secolo scorso che la metodologia statistica per lo studio delle variabili latenti venne formalizzata teoricamente (Lazarsfeld 1950a; Lazarsfeld 1950b; Lazarsfeld 1959, Lazarsfeld e Henry, 1968). Negli ultimi cinquanta anni, numerosi ricercatori di statistica, psicologia e sociologia hanno contribuito allo studio dei modelli riconducibili all'analisi a struttura latente.

L'analisi fattoriale, AF, è un metodo statistico che cerca di spiegare le correlazioni fra un insieme di variabili osservate attraverso un insieme di k variabili non osservabili.

Sotto il nome generico di analisi fattoriale si raggruppano diverse tecniche statistiche. L'analisi fattoriale può essere condotta sia a scopi esplorativi (EFA, Exploratory Factor Analysis) che a scopi confermativi (CFA, Confirmatory Factor Analysis): nel primo caso i fattori vengono estrapolati a partire dai dati, mentre nel secondo è il ricercatore a porre dei vincoli sul proprio modello e a verificare se tale modello sia coerente con i dati osservati, in termini statistici.

Le tecniche usate per EFA e CFA sono molto diverse, prima di tutto dal punto di vista degli scopi sopra illustrati e in secondo luogo per il tipo di modellizzazione matematica adottata. In generale, comunque, si può dire che tali tecniche si rivolgono alla ricerca dei "punti in comune" delle misurazioni raccolte, per quanto da prospettive diverse.

La CFA costituisce anche una fase di analisi quando si fa uso di modelli di equazioni strutturali (in inglese SEM, Structural Equation Modeling), e per tale motivo la sua trattazione più dettagliata viene spostata nel paragrafo successivo. La struttura fattoriale è vincolata, ossia definita a priori dal ricercatore. Il modello procederà a stimare le saturazioni e, quindi, a calcolare una serie di indici che descrivono quanto bene il modello sia in grado di descrivere le osservazioni.

In questo paragrafo ci soffermiamo sul fornire alcuni dettagli matematici dell'analisi fattoriale esplorativa, e a discuterne le principali differenze rispetto all'analisi in componenti principali.

Data una variabile aleatoria, Y_i con media μ_i , con $i=1, \dots, p$ dove p è il numero delle variabili osservabili (il numero delle domande indirette della nostra indagine), l'analisi fattoriale è un metodo statistico per indagare se ogni variabile osservata può essere ridotta ad una combinazione lineare di fattori k non osservabili (es. F_k , variabili latenti, considerate indipendenti l'una dall'altra) e termini di errore (es. ε_i). Matematicamente, questo può essere espresso come:

$$Y_i - \mu_i = l_{i1}F_1 + \dots + l_{ik}F_k + \varepsilon_i \quad (4.6)$$

O in termini matriciali:

$$Y - \mu = L F + \varepsilon \quad (4.7)$$

$$\begin{bmatrix} Y_1 \\ \vdots \\ Y_i \\ \vdots \\ Y_p \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} \mu_1 \\ \vdots \\ \mu_i \\ \vdots \\ \mu_p \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} l_{11} & \dots & l_{1j} & \dots & l_{1k} \\ \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \vdots \\ l_{i1} & \dots & l_{ij} & \dots & l_{ik} \\ \vdots & \dots & \vdots & \ddots & \vdots \\ l_{p1} & \dots & l_{pj} & \dots & l_{pk} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} F_1 \\ \vdots \\ F_j \\ \vdots \\ F_k \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \varepsilon_1 \\ \vdots \\ \varepsilon_i \\ \vdots \\ \varepsilon_p \end{bmatrix} \quad (4.8)$$

Dove:

$Y = [Y_1, \dots, Y_i, \dots, Y_p]^T$: è il vettore delle p variabili osservabili;

$\mu = [\mu_1, \dots, \mu_i, \dots, \mu_p]^T$: è il vettore dei valori medi di Y ;

$F = [F_1, \dots, F_j, \dots, F_k]^T$: è il vettore di k variabili inosservabili, indicate come “fattori comuni”, poiché esse influenzano tutte le variabili osservabili Y_i ;

$L = \begin{bmatrix} l_{11} & \dots & l_{1j} & \dots & l_{1k} \\ \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ l_{i1} & \dots & l_{ij} & \dots & l_{ik} \\ \vdots & \dots & \vdots & \ddots & \vdots \\ l_{p1} & \dots & l_{pj} & \dots & l_{pk} \end{bmatrix}$: è la matrice di costanti sconosciute, chiamate “pesi” e che devono essere calcolate.

$\varepsilon = [\varepsilon_1, \dots, \varepsilon_i, \dots, \varepsilon_p]^T$: è in vettore dei termini di errore stocastici non osservati, con media zero e varianze finite, che possono assumere diversi valori per ogni i .

Assumendo che :

- ε_i siano indipendenti gli uni dagli altri, e che $E(\varepsilon_i) = 0$ e $Var(\varepsilon_i) = \sigma_i^2$
- F siano indipendenti gli uni dagli altri, poiché non vi è nessuna relazione tra i fattori, e che siano anche indipendenti dai termini di errore. Essi sono anche standardizzati con $E(F_j) = 0$ e $Var(F_j) = 1$
- $Cov(F) = I$ così che i fattori siano non correlati
- $k \leq p$: il numero delle variabili osservabili Y_i è più grande o uguale al numero dei fattori comuni F_j

Qualsiasi soluzione dei valori sconosciuti l_{ij} delle precedenti equazioni con i vincoli per F sono definiti come fattori, e L è la matrice dei pesi. Con questa assunzione, la varianza di Y_i nella (4.6) può essere calcolata come:

$$\begin{aligned} Var(Y_i) &= l_{i1}^2 Var(F_1) + \dots + l_{ik}^2 Var(F_k) + 1^2 Var(\varepsilon_i) = \\ &= l_{i1}^2 + \dots + l_{ik}^2 + \sigma_i^2 \end{aligned} \quad (4.9)$$

Dove:

- $l_{i1}^2 + \dots + l_{ik}^2$ è la *communality* della varianza: la parte che è spiegata dai fattori comuni $F_1, \dots, F_j, \dots, F_k$, ed è comune alle altre variabili.
- σ_i^2 è la varianza specifica: la parte di varianza di Y_i che non è considerata nei fattori comuni. Questo valore sarebbe pari a 0 se i fattori comuni fossero dei perfetti predittori delle variabili osservabili.

Date due variabili, Y_m e Y_n :

$$Y_m = \mu_m + l_{m1}F_1 + \dots + l_{mk}F_k + \varepsilon_m \quad (4.10a)$$

$$Y_n = \mu_n + l_{n1}F_1 + \dots + l_{nk}F_k + \varepsilon_n \quad (4.10b)$$

La covarianza può essere calcolata come:

$$\begin{aligned} Cov(Y_m, Y_n) &= l_{m1}l_{n1}Var(F_1) + \dots + l_{mk}l_{nk}Var(F_k) + (1)(0)\varepsilon_m + (0)(1)\varepsilon_n = \\ &= l_{m1}l_{n1} + \dots + l_{mk}l_{nk} \end{aligned} \quad (4.11)$$

Questo mostra che la covarianza di due variabili è pari al prodotto scalare dei loro pesi.

Con le espressioni (4.9) e (4.11) è possibile costruire una *matrice teorica varianza-covarianza*, implicita nelle ipotesi del modello. Allora, con i dati raccolti nei questionari, può essere calcolata e costruita una *matrice di varianza-covarianza osservata*. Se le ipotesi del modello sono corrette, è possibile stimare i pesi, l_{ij} al fine di ottenere una matrice teorica che sia il più vicino possibile a quella osservata.

Per estrarre il primo set di pesi e fattori dalle variabili osservate ci sono differenti metodi. Tuttavia, l'analisi delle componenti principali (PCA) e l'analisi dei fattori comuni (CFA) sono le più utilizzate e preferite:

- Il metodo *Principal component*, o analisi delle componenti principali, permette di determinare i pesi, l_{ij} , che consentono una stima ravvicinata della comunanza totale alla somma delle varianze osservate, ignorando le covarianze. Le componenti principali sono scelte estraendo la massima varianza e ponendo la stessa nel primo fattore, raccogliendo il maggior numero possibile di variazioni nei dati. Quindi, la varianza spiegata dal primo fattore viene eliminata, per poi estrarre la varianza massima per il secondo fattore, ripetendo il processo fino all'ultimo fattore. Il modello può essere scritto come segue:

$$C_1 = l_{11}Y_1 + l_{21}Y_2 + l_{31}Y_3 \quad (4.12)$$

- Nella *Common factor analysis*, i fattori sono combinazioni lineari che massimizzano la porzione comune della varianza e la introducono nei fattori, sottolineando i *costrutti latenti*. Questo metodo non include la parte specifica della varianza per determinare il fattore, ed è utilizzata per i modelli ad equazioni strutturali. Questo modello può essere configurato come:

$$\begin{aligned} Y_1 &= l_{11}F_1 + \varepsilon_1 \\ Y_2 &= l_{21}F_1 + \varepsilon_2 \\ Y_3 &= l_{31}F_1 + \varepsilon_3 \end{aligned} \quad (4.13)$$

Una volta estratti i fattori, il loro autovalore fornisce l'ammontare della varianza spiegata da ogni fattore rispetto alla varianza totale. Quindi, il numero di fattori viene ridotto mantenendo solo quelli che hanno un valore intrinseco maggiore di 1, secondo quanto previsto dal criterio di Kaiser.

C'è uno stretto legame tra la CFA e l'analisi in componenti principali, PCA, che talvolta vengono confuse fra loro, ma fra i due tipi di analisi esistono delle differenze fondamentali:

- La PCA è un metodo di statistica descrittiva che ha l'obiettivo di ridurre la dimensione della matrice di dati, mentre la CFA è una tecnica basata su un modello che necessita di assunzioni sulla distribuzione congiunta delle variabili nella popolazione. Pertanto si utilizzano metodi di statistica inferenziale per misurare la bontà di adattamento, la significatività e la precisione delle stime.
- Una seconda differenza sta nel fatto che, mentre nella PCA si determinano delle opportune combinazioni lineari delle variabili osservate, nella CFA sono invece le variabili osservate essere espresse come combinazioni lineari di fattori latenti.
- Infine la PCA cerca di spiegare con poche componenti una grande parte della varianza delle variabili osservate, mentre nella CFA si prendono in considerazione le covarianze, o le correlazioni, tra le variabili. L'ipotesi sottostante la CFA è che se le variabili osservate sono funzioni lineari di variabili comuni, dovranno risultare più o meno correlate fra di loro, per cui la CFA può essere considerata come la ricerca delle origini delle correlazioni fra le variabili. I fattori comuni determinano le covarianze fra le variabili, mentre i fattori specifici contribuiscono solo alla varianza della variabile a cui si riferiscono. Questo metodo di analisi non è accettato da tutti gli studiosi in quanto può accadere di avere dei data set per i quali il modello fattoriale non fornisce un adeguato adattamento, nel senso che non si riesce ad individuare alcun fattore comune. Inoltre la CFA si basa spesso su scelte soggettive, a causa della difficoltà di individuare il numero corretto di variabili latenti e di darne una chiara interpretazione sulla base dei risultati ottenuti.

Sia nella PCA che nella CFA, i pesi dei fattori ottenuti rappresentano la quantità di varianza spiegata dalla variabile su ogni fattore. Nella modellizzazione dell'equazione strutturale, un valore di 0,7 o superiore indica che il fattore estrae una varianza sufficiente da quella particolare variabile.

I valori dei pesi possono essere difficili da interpretare a prima vista. Così, in una seconda fase dell'analisi, i pesi ottenuti possono essere "ruotati" per arrivare ad un'altra serie di pesi, il che rende i valori più comprensibili, adattando allo stesso modo le varianze e le covarianze osservate. L'effetto di rotazione dei fattori implica che ogni variabile pesa di più solo su uno dei fattori e di meno sugli altri fattori, determinando gli autovalori da variare. Ci sono diversi metodi di rotazione che forniscono soluzioni diverse, derivanti da interpretazioni diverse. L'interpretazione di ogni fattore e il numero di fattori necessari sono molto soggettivi, e il ricercatore ha il compito di identificare quale sia il significato di ogni fattore (cioè quale sia la variabile latente sconosciuta nascosta negli indicatori).

Da un punto di vista generale, i metodi di rotazione possono essere suddivisi in ortogonali (quando i fattori non possono essere correlati) o obliqui (i fattori possono essere correlati). I metodi più comuni all'interno di ciascuno dei due gruppi sono elencati di seguito:

- *Metodi Ortogonali:*
 - **Varimax:** mira a ridurre al minimo la complessità di ciascun fattore mettendoli in relazione a poche variabili e scoraggiando l'individuazione dei fattori che influenzano tutte le variabili. Produce l'aumento dei valori dei pesi più forti e la diminuzione di quelli più deboli per ogni fattore.
 - **Quartimax:** ha lo scopo di trovare un fattore generale (o un numero ridotto di essi) su cui sono pesate la maggior parte delle variabili, riducendo al minimo il numero di fattori necessari per spiegare ogni variabile. Questo viene fatto aumentando i valori dei pesi più forti e diminuendo quelli più deboli in ogni variabile. Questa struttura dei fattori non è di solito utile allo scopo della ricerca.
 - **Equimax:** è un metodo che cerca di semplificare sia i fattori che le variabili.
- *Metodi obliqui:*
 - **Direct oblimin:** è il metodo standard quando i fattori possono essere correlati, con conseguente aumento dei valori intrinseci, ma l'interpretabilità dei fattori può essere ridotta.
 - **Promax:** è un'alternativa alla precedente, utilizzata per grandi serie di dati in quanto più efficiente dal punto di vista computazionale.

Il ricorso all'analisi fattoriale, esplorativa e/o confermativa è necessario quando ci si appresta a far ricorso ai modelli di scelta ibridi. In particolare, un analista che si appresta a modellare le scelte degli utenti tenendo conto anche di eventuali fattori psico-attitudinali, includerà nell'indagine effettuata delle domande attitudinali, generalmente basate su precedenti studi scientifici ed appositamente adattati al caso studio in esame. Sarà allora necessario verificare che le suddette domande attitudinali possano essere raggruppate per rappresentare specifici fattori latenti, effettuando un'analisi fattoriale esplorativa.

Vi sono poi casi in cui l'analista include nella propria indagine dei quesiti attitudinali rappresentativi di specifici tratti o costrutti latenti postulati da teorie già esistenti. In tal caso sarà necessario verificare, tramite un'analisi fattoriale confermativa, che i quesiti attitudinali costituiscano una rappresentazione valida e affidabile dei costrutti investigati. Inoltre, un'analisi fattoriale confermativa è sempre ritenuta necessaria a valle di un'analisi fattoriale esplorativa.

4.2 Modelli ad equazioni strutturali

I modelli di equazioni strutturali (anche noti come SEM, dall'inglese Structural Equation Modelling) comprendono un insieme di tecniche statistiche multivariate che fondono aspetti dell'analisi fattoriale e della regressione, in modo che il ricercatore possa indagare simultaneamente sia le relazioni tra le variabili misurate e latenti (equazioni di misura) sia quelle tra le variabili latenti (equazioni strutturali).

Convenzionalmente, la strategia più applicata, che risale alla fine degli anni '70 (Jöreskog, 1973), è il SEM basato sulla covarianza, CB-SEM (Covariance Based Structural Equation Modelling), così chiamato perché i parametri del modello vengono stimati utilizzando il metodo dei momenti, che consente un'analisi delle covarianze. Il CB-SEM, infatti, stima i parametri del modello in modo da mantenere al minimo la discrepanza tra le matrici di covarianza stimate e quelle del campione. Tuttavia, diversi contributi (si veda

ad esempio Hair et al., 2017) hanno sottolineato che l'adozione del CB-SEM dovrebbe essere interpretata come un approccio confermativo, che risulta particolarmente utile per confrontare diverse teorie o quadri di modellizzazione. Al contrario, qualora fosse necessario perseguire un approccio esplorativo o estendere teorie esistenti, sarebbe più utile ricorrere all'approccio SEM basato sui minimi quadrati parziali (Partial Least Square Structural Equation Modelling, PLS-SEM). Il PLS-SEM è un metodo basato sulla varianza che massimizza la varianza spiegata delle variabili latenti endogene valutando le relazioni parziali del modello in un processo di regressioni iterative ai minimi quadrati ordinari (OLS).

Una differenza fondamentale tra PLS-SEM e CB-SEM riguarda il modo in cui ciascun metodo tratta le variabili latenti contenute nel modello. Il CB-SEM tratta i costrutti come fattori comuni che spiegano la covarianza tra gli indicatori ad essi associati. I valori di questi fattori comuni non sono noti o necessari per la stima dei parametri del modello. Ciò significa che è possibile ottenere un numero infinito di set diversi di punteggi di variabili latenti che si adattano al modello nello stesso modo. Al contrario, per rappresentare i costrutti di interesse, il PLS-SEM utilizza proxy che consistono in variabili composite ponderate degli indicatori di un particolare costrutto. Utilizzando queste proxy come input, il PLS-SEM applica la regressione ai minimi quadrati ordinari (OLS) con l'obiettivo di minimizzare i termini di errore (cioè la varianza residua) dei costrutti esogeni. Pertanto, il PLS-SEM stima i coefficienti (cioè le relazioni del modello di percorso) in base ai quali i valori R^2 dei costrutti endogeni target sono massimizzati. Per questo motivo, il PLS-SEM individua un approccio composito al SEM, che attenua le forti assunzioni del CB-SEM secondo cui tutta la covarianza tra un insieme di indicatori è spiegata da un fattore comune (Henseler et al., 2014; Rigdon, 2012; Rigdon et al., 2014)⁷.

Per definire quando il PLS-SEM è preferibile al CB-SEM (e viceversa), i ricercatori devono considerare le caratteristiche e gli obiettivi distintivi dei due metodi (Hair, Sarstedt, Ringle et al., 2012; Roldán e Sánchez-Franco, 2012). In generale, i punti di forza del PLS-SEM sono i limiti del CB-SEM e viceversa. Facendo riferimento agli obiettivi da perseguire, è utile ricordare che il SEM viene utilizzato per indagare (esplorare) o affermare (confermare) ipotesi. La modellazione esplorativa comporta lo sviluppo di una teoria, mentre la modellazione confermativa mira a testare la teoria. Il CB-SEM è utilizzato per confermare (o confutare) le teorie; il PLS-SEM è utilizzato principalmente per la ricerca esplorativa e lo sviluppo della teoria.

Il PLS-SEM funziona in modo efficiente con campioni di piccole dimensioni e modelli complessi e non fa quasi alcuna ipotesi sui dati sottostanti a differenza del CB-SEM che si basa sul metodo della massima verosimiglianza (ML) e richiede una distribuzione normale dei dati. Inoltre, il PLS-SEM è in grado di gestire modelli di misurazione riflessivi e formativi, nonché costrutti a singolo item, senza problemi di identificazione.

Tuttavia, il PLS-SEM presenta anche diverse limitazioni. La tecnica non può essere applicata quando i modelli strutturali contengono loop casuali, cioè relazioni circolari tra variabili latenti. Inoltre, poiché il PLS-SEM non dispone di una misura di bontà di adattamento globale ben definita, il suo utilizzo per testare una teoria è generalmente limitato. In compenso, recenti ricerche hanno iniziato a sviluppare misure di bontà di adattamento nel contesto del PLS-SEM.

Per quanto riguarda i risultati che si possono ottenere con i due metodi, si parla spesso di "bias del PLS-SEM". In pratica, si è riscontrato che le relazioni dei modelli di percorso del PLS-SEM sono sottostimate rispetto a quelle del CB-SEM, mentre i parametri dei modelli di misura sono sovrastimati (Chin et al., 2003). Infine, va sottolineato che le stime dei parametri del PLS-SEM spesso non sono ottimali in termini di consistenza. In realtà, quanto appena detto non implica che i risultati dell'algoritmo PLS-SEM siano distorti, ma si riferisce semplicemente alla "coerenza su larga scala". È solo quando il numero di indicatori per ogni variabile latente e il numero di osservazioni tendono all'infinito che i valori delle variabili latenti sono simili con i due approcci (Hui e Wold, 1982; Hair et al., 2017).

Sebbene la differenza tra i due metodi sia fortemente enfatizzata dai sostenitori del CB-SEM, le simulazioni mostrano che le discrepanze tra le stime del PLS-SEM e del CB-SEM diventano minime quando i modelli di misurazione soddisfano gli standard minimi raccomandati in termini di saturazione degli indicatori (loading) e di numero di indicatori. In particolare, quando i modelli di misurazione hanno quattro o più indicatori e le saturazioni degli indicatori soddisfano gli standard comuni ($\geq 0,7$), non c'è

⁷ Maggiori dettagli sugli algoritmi risolutivi per entrambi gli approcci verranno forniti di seguito.

praticamente alcuna differenza tra i due metodi in termini di accuratezza dei parametri (Reinartz, Haenlein e Hensler, 2009; Thiele et al., 2015).

Avendo qui anticipato le principali differenze tra le due metodologie, nonché i principali punti di forza e di debolezza, i sottoparagrafi che seguono verranno dedicati alla definizione degli algoritmi risolutivi ed alla valutazione dei risultati dei modelli. Poiché l'approccio CB-SEM è più diffuso, i riferimenti teorici proposti saranno più dettagliati per il PLS-SEM, soprattutto al fine di facilitare la lettura e la valutazione dei risultati presentati nel capitolo 6.

4.2.1.1 Approccio PLS-SEM

Negli anni '70 e '80 l'econometrico svedese Herman O. A. Wold (1975,1982,1985) introdusse per primo il concetto di modellazione dei percorsi ai minimi quadrati parziali, che in seguito si è evoluta in modellazione delle equazioni strutturali ai minimi quadrati parziali (PLS-SEM; Hair et al. 2011). IL PLS-SEM stima i parametri di un insieme di equazioni in un modello a equazioni strutturali combinando l'analisi delle componenti principali con l'analisi dei percorsi basata sulla regressione (Mateos-Aparicio 2011).

Una delle ragioni principali dell'attrattiva del PLS-SEM è che il metodo consente di stimare modelli molto complessi, ricchi di costrutti e indicatori, soprattutto quando l'obiettivo dell'analisi è la previsione. Inoltre, il PLS-SEM consente in generale una grande flessibilità in termini di requisiti dei dati e di specificazione delle relazioni tra i costrutti e gli indicatori.

Un modello di percorso è un diagramma che mostra le ipotesi e le relazioni tra le variabili da stimare in un'analisi SEM (Bollen 2002). Esso si compone di due elementi. Il modello strutturale rappresenta i percorsi strutturali tra i costrutti, mentre i modelli di misurazione rappresentano le relazioni tra ogni costrutto e i suoi indicatori associati. Nel PLS-SEM, modelli strutturali e di misura sono anche chiamati modelli interni ed esterni, rispettivamente.

La teoria strutturale indica le variabili latenti da considerare nell'analisi di un determinato fenomeno e le loro relazioni. La posizione e la sequenza dei costrutti si basano sulla teoria e sull'esperienza e le conoscenze accumulate dal ricercatore (Falk e Miller 1992). Quando i ricercatori sviluppano modelli di percorso, la sequenza è tipicamente da sinistra a destra. Le variabili latenti sul lato sinistro del modello di percorso sono variabili indipendenti, e ogni variabile latente sul lato destro è la variabile dipendente (Fig. 27).

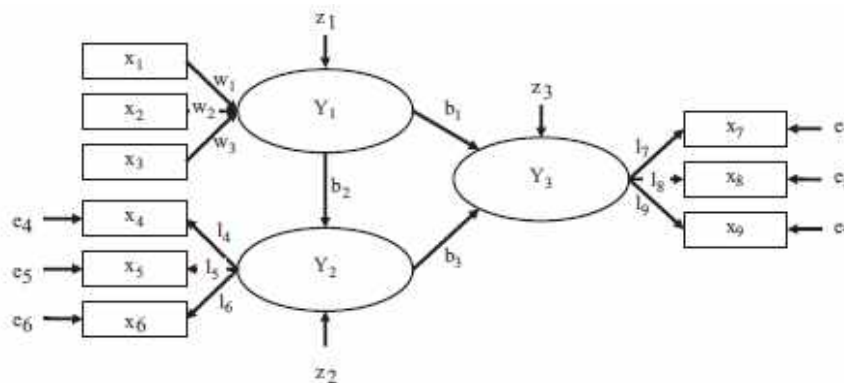


Figura 26- Modello di percorso con variabili latenti (Sarstedt et al, 2017)

Tuttavia, le variabili latenti possono anche fungere sia da variabili indipendenti sia da variabili dipendenti nel modello (Haenlein e Kaplan 2004).

Quando una variabile latente funge solo da variabile indipendente, viene chiamata variabile latente esogena (Y_1). Quando una variabile latente funge solo da variabile dipendente (Y_3), o come variabile indipendente e dipendente (Y_2), si parla di variabile latente endogena.

Le variabili latenti endogene hanno sempre dei termini di errore associati. Nella figura, le variabili latenti endogene Y_2 e Y_3 hanno un termine di errore ciascuna (z_2 e z_3), che riflette le fonti di varianza che non sono state catturate dai rispettivi costrutti antecedenti nel modello strutturale.

Anche la variabile latente esogena Y_1 ha un termine di errore (z_1), ma nel PLS-SEM, questo termine di errore è vincolato a zero a causa del modo in cui il metodo tratta il modello di misura (formativo) di questa variabile (Diamantopoulos 2011). Pertanto, questo termine di errore viene tipicamente omesso nella visualizzazione di un modello di percorso PLS. Nel caso in cui una variabile latente esogena attinga a un modello di misura riflessivo, non c'è un termine di errore collegato al modello di percorso PLS.

La forza delle relazioni tra le variabili latenti è rappresentata dai coefficienti di percorso (cioè, b_1 , b_2 e b_3), e i coefficienti sono il risultato delle regressioni di ciascuna variabile latente endogena sui loro costrutti diretti predecessori.

La teoria della misurazione specifica come misurare le variabili latenti. I ricercatori possono scegliere tra due diversi tipi di modelli di misurazione (Diamantopoulos e Winklhofer 2001; Coltman et al. 2008): modelli di misurazione riflessivi e modelli di misurazione formativi.

I modelli di misurazione riflessivi hanno relazioni dirette tra il costrutto e gli indicatori e trattano gli indicatori come manifestazioni soggette a errori del costrutto sottostante (Bollen 1989). La seguente equazione illustra formalmente la relazione tra una variabile latente e i suoi indicatori osservati:

$$x = lY + e \quad (4.14)$$

dove x è la variabile indicatore osservata, Y è la variabile latente, la saturazione (o carico esterno) l è un coefficiente di regressione che quantifica la forza della relazione tra x e Y , ed e rappresenta l'errore casuale di misurazione.

In un modello di misurazione riflessivo, le misure rappresentano le manifestazioni del costrutto latente sottostante, quindi la direzione della causalità procede dal costrutto ai suoi indicatori. Poiché una misura riflessiva richiede che tutti gli indicatori siano causati dallo stesso costrutto, questi ultimi dovrebbero essere fortemente correlati tra loro (Edwards e Bagozzi 2000). Inoltre, i singoli indicatori dovrebbero essere intercambiabili, in modo che ciascuno di essi possa essere escluso senza produrre cambiamenti nel significato del costrutto.

Al contrario, in un modello di misurazione formativa, una combinazione lineare di una serie di indicatori forma il costrutto (cioè, la relazione è dagli indicatori al costrutto). Quindi, "la variazione degli indicatori precede la variazione della variabile latente" (Borsboom et al. 2003, p. 2008). Gli indicatori dei costrutti misurati formativamente non devono necessariamente avere una forte correlazione, come nel caso degli indicatori riflessivi. Tuttavia correlazioni forti tra gli indicatori possono comunque verificarsi anche nei modelli di misurazione formativa e non implicano necessariamente che il modello di misurazione sia di natura riflessivo (Nitzl e Chin 2017).

Quando si parla di modelli di misurazione formativi, i ricercatori devono distinguere due tipi di indicatori: indicatori causali e indicatori compositi (Bollen 2011; Bollen e Bauldry 2011). I costrutti misurati con gli indicatori causali hanno un termine di errore, il che implica che il costrutto non è stato perfettamente misurato dai suoi indicatori (Bollen e Bauldry 2011). Più precisamente, gli indicatori causali mostrano unità concettuale in quanto corrispondono alla definizione del concetto data dal ricercatore (Bollen e Diamantopoulos 2017), ma i ricercatori non saranno quasi mai in grado di identificare tutti gli indicatori rilevanti per catturare adeguatamente il dominio del costrutto (ad es. Bollen e Lennox 1991). Il termine di errore cattura tutte le altre "cause" o spiegazioni del costrutto che l'insieme degli indicatori causali non cattura (Diamantopoulos 2006).

L'esistenza di un termine di errore del costrutto nei modelli di indicatori causali suggerisce che il costrutto può, in linea di principio, essere equivalente alla variabile concettuale di interesse, a condizione che il modello abbia un fit perfetto (ad esempio, Grace e Bollen

2008). Nel caso in cui gli indicatori x_1 , x_2 e x_3 rappresentino indicatori causali, il termine di errore di Y_1 , z_1 , catturerebbe queste altre "cause". Un modello di misurazione con indicatori causali può essere formalmente descritto come:

$$Y = \sum_{k=1}^K w_k \cdot x_k + z \quad (4.15)$$

dove w_k indica il contributo di x_k ($k = 1, \dots, K$) a Y , e z è un termine di errore associato a Y .

Gli indicatori composti costituiscono il secondo tipo di indicatori associati ai modelli di misurazione formativi. Quando si utilizzano modelli di misurazione con indicatori composti, i ricercatori assumono che gli indicatori definiscano il costrutto nella sua interezza (Sarstedt et al. 2016b). Di conseguenza, il termine di errore, che nei modelli di indicatori causali rappresenta "cause omesse", è impostato a zero nei modelli di misurazione formativa con indicatori composti ($z_1 = 0$). Pertanto, un modello di misurazione con indicatori composti assume la seguente forma, dove Y è una combinazione lineare di indicatori x_k ($k = 1, \dots, K$), ciascuno ponderato da un peso indicatore w_k (Bollen 2011; McDonald 1996):

$$Y = \sum_{k=1}^K w_k \cdot x_k \quad (4.16)$$

Secondo Henseler (2017, p. 180), i modelli di misurazione con indicatori composti "sono una prescrizione di come gli ingredienti dovrebbero essere disposti per formare una nuova entità", a cui si riferisce come artefatti. In alternativa, i modelli di indicatori composti possono essere pensati come un mezzo per catturare l'essenza di una variabile concettuale mediante un numero limitato di indicatori (Dijkstra e Henseler 2011).

Per misurare un costrutto, i ricercatori scelgono talvolta di utilizzare misure a indicatore singolo piuttosto che a indicatori multipli. Queste misure aumentano i tassi di risposta, in quanto le domande possono essere risposte facilmente e rapidamente, ma non offrono maggiori benefici a fronte di un costo inferiore.

Di seguito si riporta una rappresentazione grafica delle relazioni intercorrenti tra indicatori formativi, riflessivi e single item.

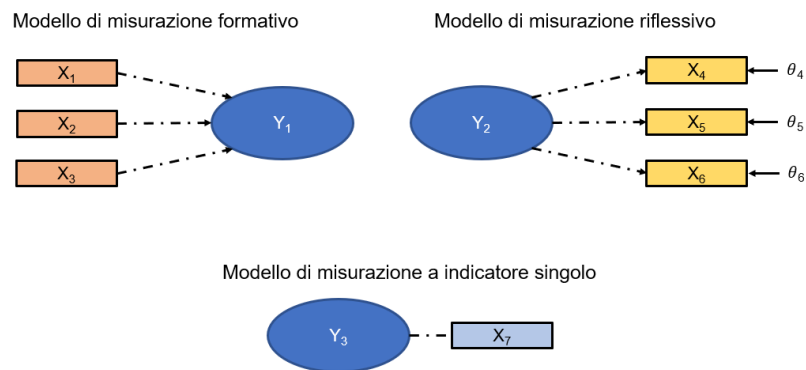


Figura 27- Modelli di misurazione

Diversamente dal CB-SEM, il PLS-SEM calcola esplicitamente i valori delle variabili latenti come parte dell'algoritmo. A questo scopo, le "variabili non osservabili sono stimate come combinazioni lineari esatte dei loro indicatori empirici" (Fornell e Bookstein 1982), in modo tale che le combinazioni risultanti catturino la maggior parte della varianza degli indicatori dei costrutti esogeni che è utile per predire gli indicatori dei costrutti endogeni (McDonald 1996). Il PLS-SEM utilizza questi composti per rappresentare i costrutti in un modello di percorso PLS, considerandoli come approssimazioni delle variabili concettuali in esame (ad esempio, Henseler et al. 2016a; Rigdon 2012).

Poiché la stima del modello basata sul PLS-SEM si basa sempre sui composti, indipendentemente dalla specificazione del modello di misura, il metodo può elaborare modelli di misurazione specificati in modo riflessivo e formativo senza problemi di identificazione (Hair et al. 2011).

Il PLS-SEM si basa su un processo di stima a più stadi, che separa la misurazione dalla stima del modello strutturale (Rigdon et al. 2014).

Alcuni aspetti sono importanti per comprendere l'interazione tra dati, misurazione e stima del modello nel PLS-SEM:

- In primo luogo, il PLS-SEM gestisce tutti gli indicatori dei modelli di misurazione formativi come indicatori composti. Pertanto, un costrutto formativamente specificato nel PLS-SEM non

ha un termine di errore, come invece avviene per gli indicatori causali nel CB-SEM SEM (Diamantopoulos 2011).

- Inoltre, l'uso dei compositi da parte del PLS-SEM non ha solo implicazioni per la filosofia di misura del metodo, ma anche per la sua area di applicazione. Nel PLS-SEM, una volta ricavati i pesi, il metodo produce sempre un singolo punteggio specifico (cioè, determinato) per ogni caso e per ogni composito. Utilizzando questi punteggi come input, il PLS-SEM applica una serie di regressioni ai minimi quadrati ordinari, che stimano i parametri del modello in modo tale da massimizzare la varianza spiegata dei costrutti endogeni (cioè il loro R^2). Gli studi di simulazione di Evermann e Tate (2016) mostrano che il PLS-SEM supera il CB-SEM basato sui fattori in termini di previsione. Alla luce dei loro risultati; analogamente, lo studio di simulazione di Becker et al. (2013a) fornisce supporto alle capacità predittive superiori del PLS-SEM.

La stima del modello nel PLS-SEM si basa su un approccio a tre stadi che appartiene alla famiglia degli algoritmi dei minimi quadrati (alternati) (Mateos-Aparicio 2011). La Figura che segue illustra l'algoritmo PLS-SEM presentato da Lohmöller (1989). Henseler et al. (2012b) offrono un'illustrazione grafica delle fasi dell'algoritmo SEM.

L'algoritmo inizia con una fase di inizializzazione in cui vengono stabiliti i punteggi preliminari delle variabili latenti. Per calcolare questi punteggi, l'algoritmo utilizza tipicamente pesi unitari (ad es. 1) per tutti gli indicatori nei modelli di misurazione (Hair et al. 2017b), il che significa che ogni indicatore contribuisce nella stessa misura alla formazione della variabile composita (Henseler et al., 2014):

$$\text{Valore del composito} = 1 \cdot x_1 + 1 \cdot x_2 + 1 \cdot x_3 + 1 \cdot x_4 + 1 \cdot x_4 \quad (4.17)$$

Ad esempio, se un costrutto è captato tramite 5 indicatori, ed un rispondente presenta i punteggi 4,5,4,6,e 7 nelle cinque variabili, allora il composito corrispondente è 26.

La fase 1 dell'algoritmo PLS-SEM determina iterativamente i pesi interni e i punteggi delle variabili latenti mediante una procedura in quattro fasi - in linea con la presentazione originale dell'algoritmo (Lohmöller 1989) i pesi interni si riferiscono ai coefficienti di percorso, mentre i pesi esterni e i carichi esterni si riferiscono ai pesi e ai carichi degli indicatori nei modelli di misura.

- Il passo n. 1 utilizza i punteggi iniziali delle variabili latenti dall'inizializzazione dell'algoritmo per determinare i pesi interni, b_{ji} , tra le variabili latenti adiacenti Y_j (cioè quella dipendente) e Y_i (cioè quella indipendente) nel modello strutturale. La letteratura suggerisce tre approcci per la determinazione dei pesi interni (Lohmöller 1989; Chin 1998; Tenenhaus et al. 2005). Nello schema del centroide, i pesi interni sono impostati a +1 se la covarianza tra Y_j e Y_i è positiva e a -1 se questa covarianza è negativa. Nel caso in cui due variabili latenti non siano collegate, il peso è impostato a 0. Nello schema di ponderazione dei fattori, il peso interno corrisponde alla covarianza tra Y_j e Y_i e viene impostato a zero nel caso in cui le variabili latenti non siano collegate. Infine, lo schema di ponderazione dei percorsi prende in considerazione la direzione delle relazioni interne al modello (Lohmöller 1989).
- Il passo n. 2, l'approssimazione interna, calcola le proxy per tutte le variabili latenti Y_j utilizzando la somma ponderata dei punteggi delle variabili latenti adiacenti Y_i .
- Poi, per tutti gli indicatori nei modelli di misurazione, il passo n. 3 calcola nuovi pesi esterni che indicano la forza della relazione tra ogni variabile latente Y_j e gli indicatori corrispondenti. A tal fine, l'algoritmo PLS-SEM utilizza due diverse modalità di stima. Quando si utilizza la modalità A (ossia i pesi di correlazione), la correlazione bivariata tra ogni indicatore e il costrutto determina i pesi esterni. Al contrario, la modalità B (ossia i pesi di regressione) calcola i pesi degli indicatori facendo una regressione di ogni costrutto sugli indicatori associati.

Per impostazione predefinita, la stima dei costrutti specificati in modo riflessivo si basa sulla modalità A, mentre il PLS-SEM utilizza la modalità B per i costrutti specificati in modo formativo. Tuttavia, Becker et al. (2013a) dimostrano che questo uso riflesso della modalità A e della modalità B non è ottimale in tutte le condizioni. Ad esempio, quando i costrutti sono specificati in modo formativo, la stima in modalità A produce una migliore previsione fuori dal campione quando la stima del modello si basa su più di 100 osservazioni e quando il valore di R^2 del costrutto endogeno è pari o superiore a 0,30.

La figura che segue mostra la rappresentazione formale di queste due modalità, dove

- x_{kjn} rappresenta i dati grezzi per l'indicatore k ($k = 1, \dots, K$) della variabile latente j ($j = 1, \dots, J$) e dell'osservazione n ($n = 1, \dots, N$),
- Y_{jn} sono i punteggi della variabile latente ottenuti dall'approssimazione interna del passo #2,
- w_{kj} sono i pesi esterni del passo #3,
- d_{jn} è il termine di errore di una regressione bivariata
- e_{kjn} è il termine di errore di una regressione multipla.

I pesi aggiornati dal passaggio #3 (cioè w_{kj}) e gli indicatori (cioè x_{kjn}) sono combinati linearmente per aggiornare i punteggi delle variabili latenti (cioè Y_{jn}) nel passaggio #4 (approssimazione esterna).

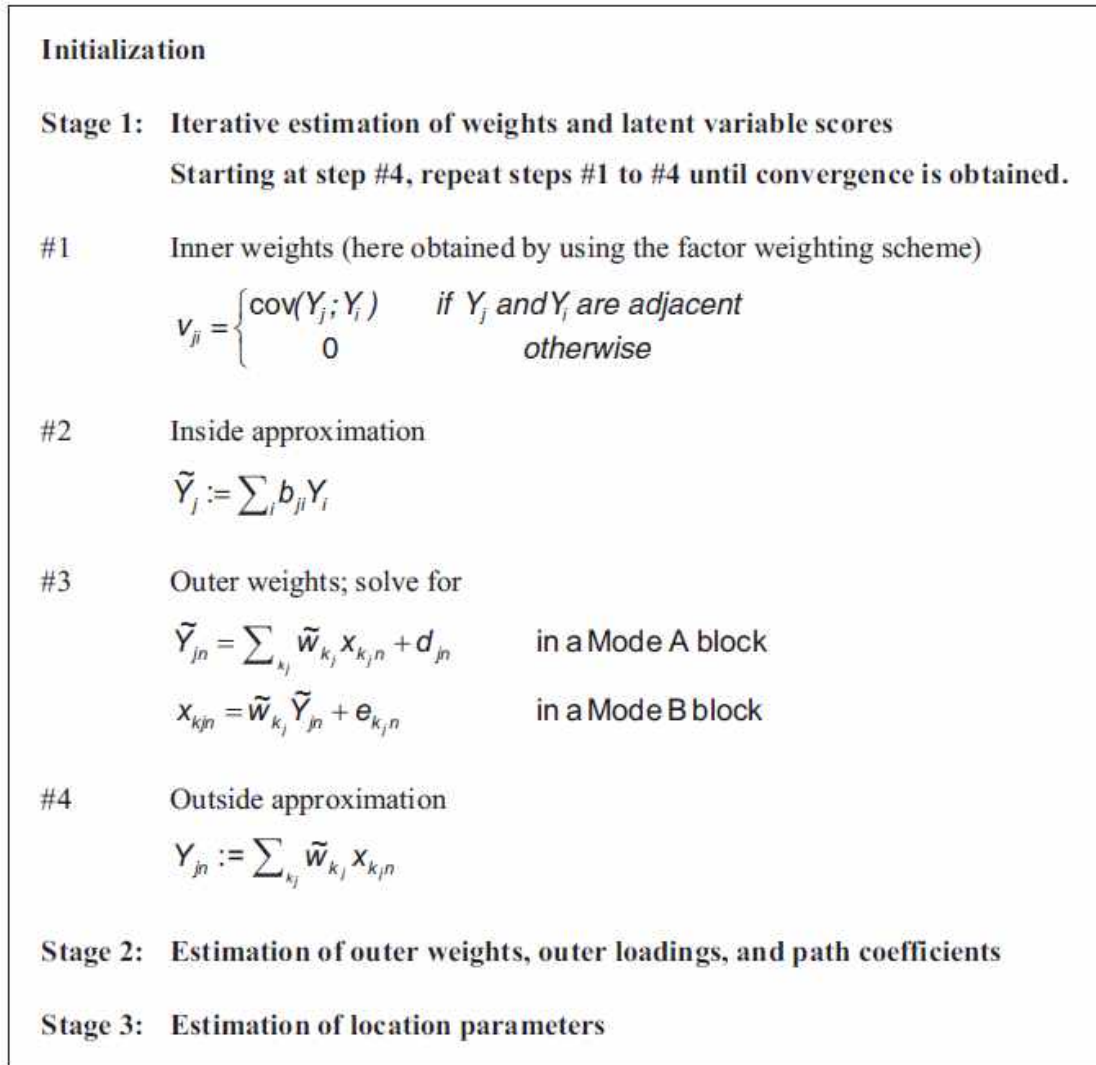


Figura 28- Algoritmo PLS-SEM (Sarstedt et al, 2017)

Si noti che l'algoritmo PLS-SEM utilizza dati standardizzati come input e standardizza sempre i punteggi delle variabili latenti generate nel passo #2 e nel passo #4. Dopo il passo #4, inizia una nuova iterazione; l'algoritmo termina quando i pesi ottenuti dal passaggio #3 cambiano marginalmente da un'iterazione all'altra (in genere 1×10^{-7}) o quando viene raggiunto il numero massimo di iterazioni (in genere 300; Henseler 2010). Le fasi 2 e 3 utilizzano i punteggi finali delle variabili latenti della fase 1 come input per una serie di regressioni ordinarie ai minimi quadrati. Queste regressioni producono i carichi esterni, i coefficienti di

percorso e gli elementi correlati, come gli effetti indiretti e totali, i valori di R^2 delle variabili latenti endogene e le correlazioni tra indicatori e variabile latente (Lohmöller 1989).

Un ultimo aspetto che vale la pena sottolineare prima di passare alla valutazione dei risultati con un approccio PLS-SEM riguarda la dimensione del campione richiesta per l'applicazione del metodo. Quando si applicano tecniche di analisi multivariata, la dimensione del campione diventa tecnicamente rilevante. La dimensione minima del campione deve garantire che i risultati del modello statistico, come ad esempio la PLS-SEM, abbiano una potenza statistica adeguata, che i risultati del metodo statistico siano solidi e che il modello sia generalizzabile. Il PLS-SEM funziona in modo efficiente anche con campioni di piccole dimensioni quando i modelli sono complessi (ad es, Fornell e Bookstein 1982; Willaby et al. 2015). Da analisi di letteratura si evince che i modelli trattati con approccio PLS-SEM sono generalmente più complessi (circa otto costrutti; ad esempio, Kaufmann e Gaeckler 2015; Ringle et al. 2012) rispetto a quelli trattati con il CB-SEM (circa cinque costrutti; ad esempio, Shah e Goldstein 2006; Baumgartner e Homburg 1996). Allo stesso modo, il numero di indicatori per costrutto è tipicamente più alto nel PLS-SEM rispetto al CB-SEM, il che non sorprende se si considera l'effetto negativo di un maggior numero di indicatori sulle misure di adattamento basate su χ^2 nel CB-SEM. A differenza del CB-SEM, l'algoritmo PLS-SEM non calcola simultaneamente tutte le relazioni del modello, ma invece utilizza regressioni ordinarie ai minimi quadrati separate per stimare le relazioni di regressione parziale del modello. Di conseguenza, il numero complessivo di parametri del modello può essere estremamente elevato rispetto alla dimensione del campione, a patto che ogni relazione di regressione parziale si basa su un numero sufficiente di osservazioni. Reinartz et al. (2009), Henseler et al. (2014) e Sarstedt et al. (2016b) dimostrano che il PLS-SEM fornisce soluzioni quando altri metodi non convergono o sviluppano soluzioni inammissibili.

Sfortunatamente, alcuni ricercatori ritengono che le considerazioni sulla dimensione del campione non abbiano alcun ruolo nell'applicazione della PLS-SEM. Questa idea è sostenuta dalla regola, spesso citata, delle 10 volte (Barclay, Higgins e Thompson, 1995), che indica che la dimensione del campione dovrebbe essere uguale alla più grande tra le due seguenti misure:

- 1) 10 volte il numero maggiore di indicatori formativi utilizzati per misurare un singolo costrutto, oppure
- 2) 10 volte il numero maggiore di path strutturali diretti verso un particolare costrutto del modello strutturale.

Questa regola empirica equivale a dire che la dimensione minima del campione dovrebbe essere 10 volte il numero massimo delle frecce indirizzate verso una variabile latente in un qualsiasi punto del modello di percorso della PLS. Mentre la regola delle 10 volte offre una linea guida approssimativa con riferimento ai requisiti minimi di dimensione del campione, per la PLS-SEM la dimensione richiesta del campione dovrebbe essere determinata mediante analisi di potenza basate sulla parte del modello con il maggior numero di predittori che tengano conto della struttura del modello, degli effetti attesi e del livello di significatività (ad esempio, Marcoulides e Chin 2013).

La tabella che segue mostra i requisiti minimi di dimensione del campione necessari per rilevare valori minimi di R^2 di 0.10, 0.25, 0.50 e 0.75 per uno qualsiasi dei costrutti endogeni nel modello strutturale per livelli di significatività dell'1%, del 5% e del 10%, assumendo il livello comunemente utilizzato di potenza statistica dell'80% e uno specifico livello di complessità del path model.

Maximum Number of Arrows Pointing at a Construct (Number of Independent Variables)	Significance Level											
	10%				5%				1%			
	Minimum R ²				Minimum R ²				Minimum R ²			
	0.10	0.25	0.50	0.75	0.10	0.25	0.50	0.75	0.10	0.25	0.50	0.75
2	72	26	11	7	90	33	14	8	130	47	19	10
3	83	30	13	8	103	37	16	9	145	53	22	12
4	92	34	15	9	113	41	18	11	158	58	24	14
5	99	37	17	10	122	45	20	12	169	62	26	15
6	106	40	18	12	130	48	21	13	179	66	28	16
7	112	42	20	13	137	51	23	14	188	69	30	18
8	118	45	21	14	144	54	24	15	196	73	32	19
9	124	47	22	15	150	56	26	16	204	76	34	20
10	129	49	24	16	156	59	27	18	212	79	35	21

Source: Cohen (1992): A Power Primer. Psychological Bulletin 112: 155-159.

Figura 29- Raccomandazioni sulla dimensione del campione in PLS-SEM per una potenza statistica dell'80%- Fonte: Cohen (1992)

La valutazione dei risultati di stima dell'approccio PLS-SEM può essere organizzata nelle seguenti fasi: (i) valutazione dei risultati per i modelli di misurazione riflessivi, (ii) valutazione dei risultati per i modelli di misurazione formativi, (iii) valutazione dei risultati per il modello strutturale, (iv) analisi avanzate (compresa la valutazione degli effetti di mediazione e moderazione). Di seguito verranno forniti maggiori dettagli sulla valutazione dei risultati per i modelli di misurazione riflessivi, per il modello strutturale e per l'effetto di moderazione. Per le altre fasi e per maggiori dettagli, si rimanda a Hair et al. (2017).

VALUTAZIONE DEI MODELLI DI MISURAZIONE RIFLESSIVA

La valutazione dei modelli di misurazione riflessivi si basa sulla verifica di due elementi: l'affidabilità e la validità delle misure di costrutto. La validità è data dal divario tra il valore medio di ogni variabile e il valore reale della stessa variabile. Più il valore medio è vicino al punteggio vero, maggiore è la validità. L'affidabilità, invece, è la distanza tra i valori di campionamento di ciascuna variabile. Se tutti i valori di campionamento di una variabile sono vicini tra loro, la misurazione di quella variabile è affidabile, anche se quei valori non sono vicini al valore vero. Una misurazione non affidabile non potrà mai essere valida, poiché non è possibile distinguere l'errore sistematico dall'errore casuale (Sarstedt e Mooi, 2014). Pertanto, l'affidabilità è una condizione necessaria per la validità.

Valutare un modello di misurazione riflessiva vuol dire, di fatti, svolgere un'analisi fattoriale confermativa.

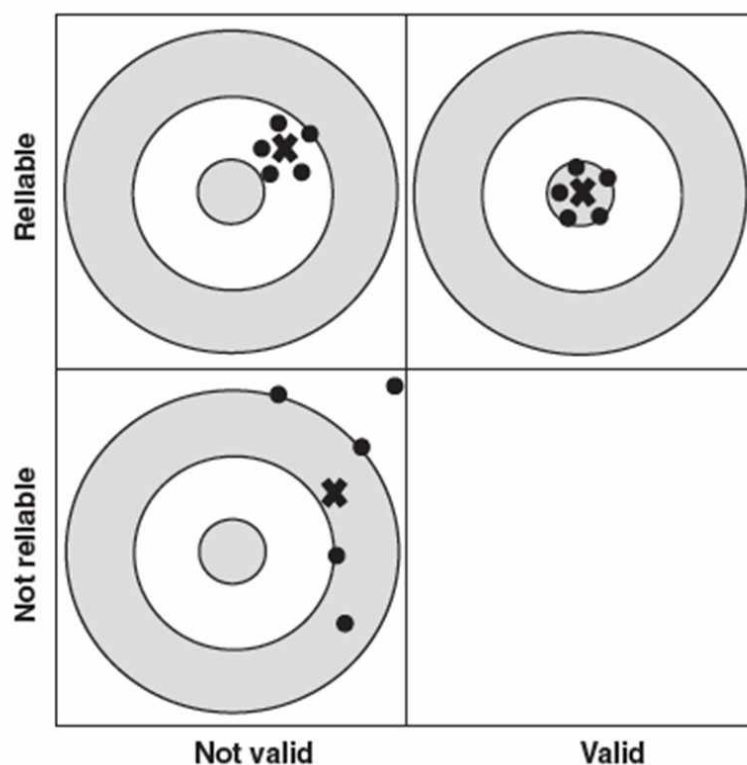


Figura 30- Affidabilità e validità (da Hair et al., 2017)

In particolare, nei modelli di misurazione riflessivi devono essere valutati: l'affidabilità della consistenza interna, la validità convergente e la validità discriminante.

Per valutare l'affidabilità della consistenza interna si possono utilizzare due indicatori: l'alfa di Cronbach, α , e l'affidabilità composita, ρ_c . Il primo fornisce una stima dell'affidabilità basata sulle intercorrelazioni tra le variabili osservate (indicatori). Esso può assumere valori compresi tra 0 e 1, con valori più alti che indicano livelli di affidabilità più elevati. Cronbach (1951) fissa a 0,5 il livello minimo di accettazione. Questo parametro presuppone che tutti gli indicatori abbiano la stessa affidabilità (cioè che tutti gli item abbiano saturato il costrutto nella stessa misura); tuttavia, il numero di item della scala influenza l'alfa di Cronbach, che spesso tende a sottostimare l'affidabilità della consistenza interna. Pertanto, questa metrica può essere considerata una misura conservativa dell'affidabilità della consistenza interna. I limiti dell'alfa di Cronbach rendono tecnicamente più appropriato il ricorso all'indicatore di affidabilità composita, che tiene conto anche del diverso carico esterno degli indicatori.

L'affidabilità composita varia tra 0 e 1, con valori più alti che indicano livelli di affidabilità più elevati. L'interpretazione è simile a quella dell'alfa di Cronbach. Più in dettaglio, valori di affidabilità composita compresi tra 0,60 e 0,70 sono appropriati nelle ricerche esplorative, anche se in quelle di livello superiore, valori compresi tra 0,70 e 0,90 possono risultare più adeguati. Valori superiori a 0,90 (e sicuramente superiori a 0,95) non sono adeguati perché implicano che tutte le variabili indicatrici misurano lo stesso fenomeno e quindi è improbabile che siano una misura valida del costrutto. Infine, i valori inferiori a 0,60 indicano una mancanza di affidabilità della consistenza interna.

Al contrario dell'alfa di Cronbach, l'affidabilità composita tende a sovrastimare l'affidabilità della consistenza interna; pertanto, sembra opportuno considerare entrambi i parametri, assumendo che la vera affidabilità si trovi solitamente tra l'alfa di Cronbach (che rappresenta il limite inferiore) e l'affidabilità composita (che rappresenta il limite superiore).

La validità convergente rappresenta il grado di correlazione positiva tra una determinata misura di un costrutto e le misure alternative dello stesso costrutto. Poiché nell'approccio di misurazione riflessivo gli

indicatori sono trattati come approcci alternativi per misurare lo stesso costrutto, quelli relativi allo stesso costrutto dovrebbero convergere o condividere un'alta percentuale di varianza. Per valutare la validità convergente dei costrutti riflessivi, si considerano le saturazioni esterne (outer loadings) degli indicatori e la varianza media estratta (AVE).

Per quanto riguarda le saturazioni esterne, secondo una regola empirica consolidata, una variabile latente dovrebbe spiegare almeno il 50% della varianza di ciascun indicatore affinché la varianza condivisa tra il costrutto e il suo indicatore sia maggiore della varianza dell'errore di misurazione. Il valore che al quadrato è 0,5 è esattamente 0,708, quindi un valore di 0,7 delle saturazioni esterne standardizzate è considerato accettabile. Gli indicatori con saturazioni esterne inferiori a 0,4 dovrebbero sempre essere eliminati dal costrutto (Bagozzi, Yi e Phillips, 1991; Hair et al., 2011); l'eliminazione di indicatori con saturazioni esterne comprese tra 0,40 e 0,70 dovrebbe essere presa in considerazione solo se comporta un aumento dell'affidabilità composita (o della varianza media estratta) superiore al valore soglia suggerito.

La varianza media estratta (AVE) è definita come il valore medio complessivo del quadrato delle saturazioni degli indicatori associati al costrutto (cioè è uguale alla somma delle saturazioni al quadrato divisa per il numero di indicatori). Adottando la stessa logica dei singoli indicatori, un AVE pari o superiore a 0,5 indica che, in media, il costrutto spiega più della metà della varianza dei suoi indicatori.

La validità discriminante rappresenta la misura in cui un costrutto è effettivamente diverso da altri costrutti su base statistica. Tradizionalmente sono state impiegate due misure della validità discriminante: il cross loading e il criterio di Fornell-Larcker.

Il criterio di "cross loading" asserisce intuitivamente che la saturazione di un indicatore rispetto al costrutto a cui è associato dovrebbe essere maggiore di tutte le saturazioni incrociate (cioè le sue correlazioni) con gli altri costrutti.

Il criterio di Fornell-Larcker confronta la radice quadrata dei valori di AVE con le correlazioni tra le variabili latenti. In particolare, ci si aspetta che la radice quadrata dell'AVE di ciascun costrutto sia maggiore della sua massima correlazione con qualsiasi altro costrutto.

Sebbene i due criteri siano stati tradizionalmente utilizzati, Henseler et al., 2015 hanno proposto, come alternativa, l'uso del rapporto heterotrait-monotrait (HTMT) delle correlazioni. L'HTMT è il rapporto tra le correlazioni between-trait (cioè tra indicatori che misurano costrutti diversi) e le correlazioni within-trait (cioè tra indicatori che misurano lo stesso costrutto). L'HTMT è quindi uguale alla media di tutte le correlazioni tra indicatori che misurano costrutti diversi divisa per la media (geometrica) delle correlazioni medie (per ciascun costrutto) degli indicatori che misurano lo stesso costrutto.

L'approccio HTMT è una stima di quella che sarebbe la vera correlazione tra due costrutti se fossero perfettamente affidabili. Una correlazione tra due costrutti vicina a 1 indica una mancanza di validità discriminante, ma l'esatto livello di soglia HTMT è discutibile. Sulla base di ricerche precedenti, Henseler et al. (2015) suggeriscono un valore soglia di 0,90 se il modello strutturale include costrutti concettualmente molto simili; pertanto, un valore di HTMT superiore a 0,90 suggerisce una mancanza di validità discriminante. Quando i costrutti del modello strutturale sono concettualmente più distinti, è adatto un valore soglia più basso e conservativo, pari a 0,85.

VALUTAZIONE DEL MODELLO STRUTTURALE

Una volta verificato che le misure dei costrutti sono affidabili e valide, il passo successivo consiste nel valutare i risultati del modello strutturale, basandosi essenzialmente sulla sua capacità di prevedere i costrutti esogeni. Il primo passo consiste nel valutare l'eventuale presenza di collinearità nel modello strutturale. Successivamente, la valutazione del modello strutturale procede valutando i seguenti criteri chiave: il valore e la significatività dei coefficienti di percorso (fase 2), il livello del valore R^2 (fase 3), l'effect size f^2 (fase 4), la significatività predittiva Q^2 (fase 5) e l'effect size q^2 (fase 6).

Nel modello strutturale, non ci si aspettano correlazioni elevate tra i diversi costrutti che contribuiscono alla formazione di un singolo costrutto endogeno, poiché i costrutti stessi non dovrebbero essere intercambiabili tra loro. Una forte correlazione tra due costrutti, detta anche collinearità (o multicollinearità se tra più di due costrutti), può rivelarsi problematica dal punto di vista metodologico e interpretativo. Per valutare la collinearità si utilizzano due parametri: la tolleranza, TOL, e il fattore di inflazione della varianza, VIF. La tolleranza rappresenta la quantità di varianza di un costrutto endogeno

che non è spiegata da altri costrutti che contribuiscono alla formazione del costrutto esogeno. Il fattore di inflazione della varianza (VIF, Variance Inflation Factor), invece, è il reciproco della tolleranza. Nel contesto del PLS-SEM, un valore di tolleranza pari o inferiore a 0,20 e un valore di VIF pari o superiore a 5 indicano un potenziale problema di collinearità (Hair et al., 2011). Ad esempio, un livello di VIF pari a 5 indica che l'80% della varianza del costrutto esogeno è spiegata dai restanti costrutti associati allo stesso blocco. Si noti che la collinearità deve essere esaminata separatamente per ogni sottoparte del modello strutturale.

La seconda fase consiste nel verificare i coefficienti di percorso, che rappresentano le relazioni ipotizzate tra i costrutti. I coefficienti di percorso assumono valori standardizzati compresi approssimativamente tra -1 e +1 (i valori possono anche essere più grandi o più piccoli, ma sono generalmente compresi tra questi due estremi). I valori stimati dei coefficienti di percorso vicini a +1 rappresentano relazioni forti e positive (e viceversa per i valori negativi) che sono generalmente statisticamente significative. Più i coefficienti valutati sono vicini a 0, più le relazioni sono vulnerabili. I valori molto bassi vicini allo 0 non sono generalmente statisticamente significativi. Quando si interpretano i risultati di un modello di percorso, è necessario verificare la significatività di tutte le relazioni nel modello strutturale, utilizzando valori t, valori p e intervalli di confidenza bootstrap.

I coefficienti di percorso del modello strutturale possono essere interpretati mettendoli in relazione tra loro. Se un coefficiente è maggiore di un altro, il suo impatto sulla variabile latente endogena è più evidente. Per la loro interpretazione, si ipotizza che il cambiamento di un'unità del costrutto esogeno modifichi il costrutto endogeno in misura pari al coefficiente di percorso, quando tutto il resto (cioè tutti gli altri costrutti e i loro coefficienti di percorso) rimane invariato (Hair et al., 2010). Se il coefficiente di percorso è statisticamente significativo, il suo valore indica il grado di correlazione tra il costrutto esogeno e quello endogeno.

Successivamente, è necessario valutare il livello del coefficiente di determinazione, R^2 , che è una misura del potere predittivo del modello ed è calcolato come la correlazione al quadrato tra i valori effettivi e previsti di uno specifico costrutto endogeno.

$$R^2 = \rho_{X,Y}^2 \quad (4.18)$$

Dove: $\rho_{X,Y}$ è la correlazione tra le variabili X e Y, ottenibile dividendo la covarianza tra le due variabili per il prodotto dei loro scarti quadratici medi, cioè

$$\rho_{X,Y} = \frac{\sigma_{X,Y}}{\sigma_X \cdot \sigma_Y} \quad (4.19)$$

O in alternativa come:

$$R^2 = 1 - \frac{RSS}{TSS} = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n e_i^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2} = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2} \quad (4.20)$$

Dove:

- $RSS = \sum_{i=1}^n e_i^2 = \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2$ è la devianza residua
- $TSS = \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2$ è la devianza totale
- y_i sono i dati osservati
- \bar{y} è la loro media
- \hat{y}_i sono i dati stimati dal modello

Il coefficiente rappresenta la proporzione di varianza del costrutto endogeno che viene spiegata da tutti i costrutti esogeni ad esso associati. L'intervallo di R^2 varia da 0 a 1, con valori più alti che indicano una maggiore accuratezza predittiva. È difficile offrire linee guida generali per un R^2 adeguato, poiché dipende dalla complessità del modello e dalla disciplina di ricerca. Mentre i valori di R^2 di 0,2 sono considerati elevati in discipline come il comportamento del consumatore, i ricercatori negli studi sui driver di successo

(ad esempio, studi volti a spiegare la soddisfazione o la fedeltà dei clienti) si aspettano valori molto più elevati, come 0,75 o più (Hair et al., 2017).

Vale la pena notare che l'aggiunta di ulteriori costrutti (non significativi) nel modello strutturale per spiegare una variabile latente endogena porta sempre a un aumento dell' R^2 .

Selezionare un modello solo in base al suo valore di R^2 non è quindi un buon approccio e per questo motivo, quando si devono confrontare diversi modelli, i ricercatori preferiscono fare appello al coefficiente di determinazione aggiustato, R^2_{adj} , che tiene conto anche della dimensione del campione e del numero di costrutti esogeni:

$$R^2_{adj} = 1 - \frac{n-1}{n-k-1} \cdot \frac{RSS}{TSS} \quad (4.21)$$

Dove:

- n è il numero delle osservazioni;
- k è il numero dei regressori (variabili indipendenti).

Il quarto passo consiste nel valutare l'effect size f^2 . Si tratta di una misura della variazione del valore di R^2 quando uno specifico costrutto esogeno viene ommesso dal modello per valutare se il costrutto ommesso ha o meno un impatto sostanziale sui costrutti endogeni e può essere calcolata come:

$$f^2 = \frac{R^2_{incluso} - R^2_{escluso}}{1 - R^2_{incluso}} \quad (4.22)$$

Dove $R^2_{incluso}$ e $R^2_{escluso}$ sono i valori di R^2 della variabile latente endogena quando una variabile latente esogena scelta viene inclusa o esclusa dal modello. Per valutare f^2 , si assume che valori di 0,02, 0,15 e 0,35 rappresentino rispettivamente effetti piccoli, medi e grandi (Cohen, 1988) della variabile latente esogena. Valori inferiori a 0,02 indicano l'assenza dell'effetto.

Il quinto passo consiste nell'esaminare il valore Stone-Geisser Q^2 (Geisser, 1974; Stone, 1974), che contribuisce, insieme all' R^2 , alla valutazione della rilevanza predittiva, in quanto è un indicatore del potere predittivo del modello fuori dal campione. Quando un modello di percorso PLS ha rilevanza predittiva, è in grado di prevedere accuratamente i dati non utilizzati nella stima del modello. Nel modello strutturale, valori Q^2 maggiori di zero per una specifica variabile latente endogena riflessiva indicano la rilevanza predittiva del modello di percorso per un determinato costrutto dipendente.

Il valore Q^2 si ottiene attraverso la procedura di blindfolding. Si tratta di una tecnica di riutilizzo del campione in cui ogni d -esimo punto di dati negli indicatori del costrutto endogeno viene ommesso e i parametri vengono stimati con i dati rimanenti (Chin, 1998; Henseler et al., 2009; Tenenhaus et al., 2005). Si tratta di un processo iterativo che viene ripetuto fino a quando tutti i dati sono stati ommessi e il modello è stato ristimato.

L'ultimo parametro da valutare in questa fase è l'effect size q^2 . I valori di q^2 , stimati attraverso la procedura di blindfolding, rappresentano una misura dell'accuratezza con cui il modello di percorso è in grado di prevedere i valori originariamente osservati. Analogamente all'effect size f^2 per la valutazione dei valori R^2 , è possibile confrontare l'impatto relativo della rilevanza predittiva attraverso la misura dell'effect size q^2 , formalmente definita come:

$$q^2 = \frac{Q^2_{incluso} - Q^2_{escluso}}{1 - Q^2_{incluso}} \quad (4.23)$$

Valori di 0,02, 0,15 e 0,35 sono indicativi di una variabile esogena con rilevanza predittiva rispettivamente piccola, media e grande per un determinato costrutto endogeno.

VALUTAZIONE DELL'EFFETTO DI MODERAZIONE

La moderazione rappresenta una circostanza in cui la connessione tra due costrutti non è costante, ma si basa sugli aspetti positivi di un terzo fattore, definito variabile moderatrice. La variabile moderatrice modifica la forza o addirittura la direzione di una relazione tra due costrutti nel modello. Le relazioni di

moderazione sono assunte a priori e verificate specificamente dal ricercatore. Le variabili moderatrici possono essere presenti nei modelli strutturali in diverse forme. Possono rappresentare tratti osservabili come il sesso, l'età, il reddito, o anche tratti non osservabili come l'atteggiamento verso il rischio o un marchio e così via.

Quando si include un effetto di moderazione nel modello di percorso PLS, si introduce anche una relazione diretta tra il moderatore e il costrutto endogeno. Quest'ultima è necessaria per tenere conto dell'effetto diretto del moderatore sul costrutto endogeno. Per modellare le variabili di moderazione nel PLS-SEM, è necessario includere un termine di interazione, che rappresenta l'interrelazione tra la variabile latente esogena e la variabile di moderazione. Esistono tre approcci per modellare il termine di interazione: l'approccio del prodotto-indicatore, l'approccio dell'ortogonalizzazione e l'approccio a due stadi.

I primi due approcci possono essere utilizzati solo quando le variabili latenti esogene ed endogene sono misurate in modo riflessivo, mentre l'approccio a due stadi può essere utilizzato quando sono presenti misure formative. L'approccio di ortogonalizzazione si rivela utile quando l'obiettivo dell'analisi è quello di minimizzare i bias nella stima dell'effetto di moderazione o di massimizzare la previsione. Tuttavia, quando l'obiettivo è identificare la significatività statistica del moderatore, è preferibile l'approccio a due stadi, che è generalmente il più flessibile e dovrebbe, quindi, essere preferito all'approccio ortogonale.

L'approccio prodotto-indicatore consiste nel moltiplicare ogni indicatore della variabile latente esogena per ogni indicatore della variabile moderatrice (Chin, Marcolin, & Newsted, 2003). In questo modo, i cosiddetti indicatori-prodotto diventano gli indicatori del termine di interazione.

Quando si valutano i modelli di misurazione riflessiva, la variabile moderatrice deve soddisfare tutti i criteri rilevanti in termini di affidabilità della consistenza interna, validità convergente e validità discriminante. Allo stesso modo, tutti i criteri per i modelli di misurazione formativi si applicano universalmente alla variabile moderatrice. Per il termine di interazione, invece, questi requisiti non si applicano. Una volta verificati i requisiti della variabile moderatrice, è importante considerare anche i criteri standard per la valutazione del modello strutturale. Nel contesto della moderazione, occorre prestare particolare attenzione alla dimensione dell'effetto f^2 del termine di interazione. Nel caso degli effetti di interazione, l'effect size f^2 indica quanto il moderatore contribuisce a spiegare la variabile latente endogena. In questo caso, le linee guida da tenere in considerazione per la dimensione dell'effetto f^2 sono leggermente diverse da quelle applicate al modello di percorso generale. Aguinis et al. (2005) hanno dimostrato che la dimensione media dell'effetto nei test di moderazione è di soli 0,009. Alla luce di questo scenario, Kenny (2016) suggerisce che 0,005, 0,01 e 0,025 siano standard più realistici per dimensioni dell'effetto piccole, medie e grandi rispettivamente, pur considerandoli ottimistici sulla scorta dell'analisi di Aguinis et al. (2005).

4.2.1.2 Approccio CB-SEM

L'approccio più utilizzato per la modellazione a equazioni strutturali è quello basato sulla covarianza.

In tal caso, i dati in ingresso per il modello sono direttamente costituiti dalla matrice di varianza-covarianza calcolata a partire da un certo numero di variabili (tuttavia si potrebbe anche ricorrere alla matrice delle correlazioni). Ovviamente, va tenuto in conto che la matrice in esame è simmetrica, quindi, definito n il numero delle variabili, i dati in ingresso per l'applicazione del modello saranno pari a $[n \cdot (n + 1)]/2$.

Tale metodologia richiede che particolare attenzione venga dedicata al cosiddetto "pretrattamento" delle variabili che si inseriscono nel modello. I SEM con approccio basato sulle covarianze assumono che le distribuzioni delle variabili monovariate e bivariate siano normali; che non ci siano errori sistematici di rilevazione e che non siano presenti nelle distribuzioni delle variabili dei valori anomali (outliers) che possono distorcere i coefficienti. Il rispetto di questi assunti deve essere preliminarmente controllato con opportune analisi statistiche descrittive.

In termini di specificazione del modello, una delle principali differenze che si manifesta rispetto all'approccio PLS-SEM risiede nel fatto che per i costrutti latenti vadano considerati anche i termini residuali, associati non solo ai costrutti latenti endogeni, ma anche alle variabili che fungono da indicatori; Nel caso delle variabili che sono assunte nel modello come indicatori, il termine residuo rappresenta la

varianza non riprodotta dal fattore per il corrispondente indicatore. Parte di questa varianza è dovuta ad errori casuali di rilevazione, o a problemi di attendibilità della variabile. Ciò non significa che tali modelli siano in grado di superare i difetti presenti nelle variabili, ma piuttosto che possano controllare gli effetti di disturbo dovuti a questi termini.

Per l'approccio CB-SEM la natura e le dimensioni dei campioni risultano particolarmente rilevanti. I campioni dovrebbero essere probabilistici e di ampiezza sufficiente (Di Franco 2010). Se l'ampiezza del campione è insufficiente è anche maggiore la probabilità di riscontrare problemi tecnici nel procedimento di stima. Con riferimento al CB-SEM, Kline (2011) riferisce di una regola pratica per stabilire la relazione tra la dimensione del campione e la complessità del modello; questa regola è definita dall'espressione $N:q$, ed è applicabile solo quando si utilizza il metodo della massima verosimiglianza. La dimensione minima del campione è data dal rapporto fra il numero dei casi (N) e il numero di parametri (q) del modello che devono essere stimati. Un rapporto ideale fra la dimensione del campione e il numero di parametri da stimare dovrebbe essere pari a 20 a 1. Ad esempio, se q è 10, il campione minimo ideale dovrebbe essere $20 \cdot 10 = 200$. Se il rapporto diminuisce sotto la soglia di 10 a 1, l'affidabilità dei risultati è compromessa. Passiamo ora a illustrare le fasi operative dell'approccio. A partire da una matrice di varianze e covarianze, S , si stimano tutti i parametri del modello, attraverso i quali si produce una nuova matrice di covarianze Σ . La valutazione del modello, in modo analogo a quanto avviene in altri procedimenti, consiste nel confronto tra la matrice empirica e la matrice riprodotta dal modello $S-\Sigma$. Quanto più è piccola la differenza tra le due matrici, tanto meglio il modello si adatta ai dati.

La specificazione del modello consiste nello stabilire quali sono i parametri da stimare di un modello, a seguito delle scelte che il ricercatore effettua in base alla teoria di riferimento. Raykov e Marcoulides (2006) riportano i seguenti sei criteri:

1. Tutte le varianze delle variabili esogene sono parametri;
2. Tutte le covarianze fra le variabili esogene sono parametri (eccetto quelle che sono poste a 0 per motivi teorici);
3. Tutti i pesi fattoriali fra un costrutto latente, esogeno o endogeno, e i suoi indicatori sono parametri (eccetto quelli che sono posti su valori fissi per motivi tecnici e/o teorici);
4. Tutti i coefficienti strutturali fra le latenti sono parametri (eccetto quelli che sono posti su valori fissi per motivi tecnici e/o teorici);
5. Le varianze e le covarianze fra le variabili endogene, così come le covarianze fra le variabili endogene e quelle esogene, non sono parametri;
6. Si deve definire l'unità di scala di ogni costrutto latente incluso in un modello.

Avendo individuato i dati presenti nella matrice di varianze-covarianze S , e quanti sono i parametri da stimare, bisogna poi investigare se nelle condizioni date il sistema di equazioni sia risolvibile (identificabile).

Un modello si dice identificato se è possibile individuare un insieme univoco di soluzioni per i parametri incogniti del sistema di equazioni. Ci sono requisiti necessari ma non sufficienti per l'identificazione di un modello strutturale recursivo (cioè che non prevedono legami di retroazione tra le variabili):

1. I gradi di libertà (g.d.l.) del modello devono essere almeno uguali a zero. I gradi di libertà di un modello sono uguali alla differenza fra i dati empirici, ossia il numero di coefficienti di varianze e covarianze, e la somma dei parametri da stimare. Quando i parametri sono più numerosi dei dati, i gradi di libertà sono negativi. In questo caso si dice che il modello è sotto-identificato o indeterminabile;
2. A ciascun costrutto latente del modello (inclusi i termini residui) deve essere assegnata una scala di valori (cardinale)

Un modello si dice "identificato" se ha tanti parametri da stimare quanti sono i dati (in altre parole se non ha gradi di libertà); un modello si dice sovra-identificato se ha un numero di parametri da stimare inferiore al numero dei dati (quindi ha uno o più gradi di libertà). Sono due, invece, i casi in cui un modello può essere sotto-identificato: il primo occorre quando il numero dei parametri da stimare è superiore ai dati (i gradi di libertà del modello sono quindi negativi). Il secondo caso si verifica quando alcuni parametri del modello sono sotto-identificati perché non c'è abbastanza informazione per la loro stima, a differenza degli altri. Nel complesso il modello è considerato non identificato benché i suoi gradi di libertà possano essere maggiori o uguali a zero. In sintesi, un modello si dice sotto-identificato quando non è possibile pervenire ad una stima univoca di tutti i suoi parametri.

Per soddisfare il secondo requisito si deve assegnare una scala di valori a ciascun costrutto latente del modello (inclusi i termini residui). Lo si può fare in due modi: fissando le varianze delle latenti su un determinato valore. Anche se è possibile scegliere un qualunque valore positivo, di solito si sceglie il valore 1 (il che equivale a standardizzare la varianza della latente). Il secondo modo consiste nell'assegnare a ciascun costrutto latente la stessa scala di uno dei suoi indicatori, che in questo caso viene detta "variabile di riferimento". Quale che sia il modo scelto di assegnare una scala alle latenti, occorre ribadire che il numero di parametri da stimare del modello si riduce di una unità per ciascun costrutto ivi inclusivo.

Infine, per poter definire un costrutto latente occorrono almeno tre indicatori, anche se in molte applicazioni ne sono usati solo due. Kline (2011) sconsiglia decisamente di usare un solo indicatore per definire una latente.

Nei modelli di analisi fattoriale confermativa che specificano relazioni unidimensionali- nelle quali ciascun indicatore dipende da un solo fattore e non ci sono correlazioni fra i rispettivi termini di errore- ci sono alcune regole ulteriori circa il numero minimo di indicatori da usare per ciascun fattore (Kline 2011). La prima stabilisce che un modello con un solo fattore e tre indicatori è sempre identificato; la seconda che un modello con un numero di fattori maggiori o uguale a due e un numero di indicatori maggiore o uguale a due è sempre identificato. Kline (2011) raccomanda comunque di disporre sempre di almeno tre o quattro indicatori per ciascuna variabile latente, anche se per l'identificazione del modello possono bastare due indicatori.

Una volta che è stata appurata l'identificabilità di un modello, la stima dei parametri avviene, generalmente, senza particolari problemi, applicando il metodo della massima verosimiglianza. Questo criterio analizza simultaneamente tutte le equazioni del modello con un algoritmo iterativo. Gli assunti per poter applicare il procedimento di stima sono: l'assenza di collinearità fra le variabili; l'indipendenza fra le variabili esogene e i termini residui; la normalità multivariata delle distribuzioni delle variabili; la corretta specificazione del modello.

L'espressione "massima verosimiglianza" descrive il principio statistico che sottostà alla stima dei parametri: le stime sono quelle che massimizzano la probabilità che i dati (covarianze campionarie) siano tratte dalla popolazione di riferimento. Le stime di massima verosimiglianza sono simultanee: tutti i parametri del modello sono calcolati nello stesso momento. Nel procedimento di stima si segue una funzione (detta di adattamento) che deve essere ottimizzata minimizzando la differenza fra la matrice empirica delle covarianze e la stessa matrice predetta dal modello specificato dal ricercatore.

Il procedimento, in termini matematici è descritto da Mulaik (2009).

La soluzione ML si ottiene minimizzando la seguente funzione di adattamento:

$$F_{ML} = \log|\hat{\Sigma}(\theta)| + \text{tr}(S\hat{\Sigma}^{-1}(\theta)) - \log|S| - (p + q) \quad (4.24)$$

Dove:

- \log è la funzione del logaritmo naturale (base e),
- $\hat{\Sigma}(\theta)$ è la matrice di covarianza implicita nel modello,
- S è la matrice di covarianza osservata,
- tr è la traccia della matrice, che somma gli elementi diagonali
- $(p + q)$ è pari al numero di coefficienti che devono essere stimati nel modello.
- $\hat{\Sigma}^{-1}(\theta)$ è la matrice inversa, quindi l'inverso della matrice implicita deve essere possibile.

In termini di valutazione dei risultati l'approccio CB-SEM prevede una prima fase di analisi fattoriale per il controllo dell'affidabilità e validità del modello di misurazione ed un esame dei coefficienti di percorso stimati e della loro significatività; a seguire la valutazione complessiva del modello consiste nell'analizzare l'adattamento del modello ai dati.

Per fare ciò, si utilizzano alcuni valori statistici, chiamati indici di bontà di adattamento. Va sottolineato, tuttavia, che per migliorare l'adattamento di un modello è sufficiente aggiungere parametri. Se si desidera un adattamento perfetto, è sufficiente rimuovere i gradi di libertà del modello. Quindi anche un modello mal specificato, contenente parametri non necessari, può presentare un ottimo adattamento ai dati. In pratica, l'adattamento statistico del modello è una condizione necessaria ma non sufficiente: possiamo avere modelli che raggiungono l'adattamento statistico, ma sono teoricamente irrilevanti.

Esistono due serie di indici di adattamento: (i) le statistiche di test del modello (basate sul chi-quadro) e (ii) gli indici di adattamento approssimativo.

Le statistiche di test del modello pongono dei limiti alle differenze tra i dati riprodotti e i dati empirici che possono essere attribuite a effetti casuali (e quindi a errori di campionamento). Se queste differenze sono inferiori a quelle attese in base agli effetti casuali, abbiamo una validazione preliminare dell'adattamento del modello. Questa validazione iniziale può essere successivamente smentita da altri controlli. Al contrario, se le differenze tra il modello e i dati superano il limite attribuito alla casualità, il modello deve essere nuovamente specificato o rifiutato. Gli indici basati sul chi-quadro verificano se la matrice di covarianza riprodotta dal modello approssima la matrice di covarianza empirica. Se il valore del chi-quadro di un modello è uguale a zero, significa che c'è una perfetta corrispondenza tra la covarianza riprodotta e quella empirica. All'aumentare delle differenze, aumenta il valore del chi quadrato. Il chi quadrato ha un minimo (zero), ma non un massimo, quindi è necessario valutare l'entità del chi quadrato tenendo conto della dimensione del campione e dei gradi di libertà del modello. Se il valore del chi-quadro è significativo (valore $p < 0,05$) il modello deve essere ri-stimato.

Il valore stimato del chi-quadro deve essere utilizzato con molta attenzione perché l'accuratezza della sua approssimazione con la distribuzione del chi-quadro può essere influenzata da diversi fattori, come l'eccessiva curtosi (Browne 1984) e la dimensione del campione inferiore a 100 casi (Boomsma, 2000); inoltre, tutti i valori riferiti al chi-quadro aumentano proporzionalmente all'aumentare della dimensione del campione. Se il campione è molto grande, il modello, anche se ben specificato, presenterà sempre un divario rilevante tra i valori empirici e quelli stimati.

Per superare gli svantaggi degli indici basati sul chi-quadrato, sono stati proposti diversi indici di adattamento globale del modello, definiti indici di adattamento approssimativo. Esistono 4 tipi di indici di approssimazione (Di Franco, 2015):

- 1) *Indici di adattamento assoluto*. Sono interpretati come la percentuale di covarianza riprodotta dal modello. Ad esempio, per alcuni di questi indici, se il valore è 0,95 significa che il modello riproduce il 95% della covarianza empirica. Gli indici più comunemente utilizzati in letteratura, appartenenti a questo tipo, sono il Goodness of Fit Index, GFI (Jöreskog, 2004), l'Adjusted Goodness of Fit Index, AGFI. Entrambi assumono valori compresi tra 0 e 1, indicando rispettivamente il peggiore e il migliore adattamento dei dati; si differenziano perché il secondo indice tiene conto dei gradi di libertà del modello. Anche il Root Mean Square Residuals, RMR (Jöreskog e Sorbom, 1986), appartiene a questa classe (Hammervold e Olsson, 2012). Si tratta di una misura di adattamento globale basata sulla matrice dei residui. Si azzerava quando la matrice di covarianza del campione (S) coincide con la matrice di covarianza stimata Σ , ma non ha un limite superiore. Il criterio suggerito in letteratura per definire un modello come "fit" consiglia un valore inferiore a 0,08 (Browne e Cudeck 1993); ancora meglio se inferiore a 0,05.
- 2) *Indici di fit incrementali o indici di fit comparativi*. Indicano il miglioramento relativo dell'adattamento del modello analizzato rispetto a un modello preso come riferimento. Di solito, il modello di riferimento è il modello di indipendenza, in cui si assume che la matrice di covarianza relativa alla popolazione sia pari a zero. Il modello di indipendenza è quindi il peggior modello immaginabile. In questa classe troviamo il Non-Normed Fit Index (NNFI) e il Comparative Fit Index (CFI). Il modello è considerato accettabile se questi indici superano il valore di 0,93 (Byrne 1994).
- 3) *Indici di adattamento aggiustati per la parsimonia*. Sono indici che tengono conto dei gradi di libertà del modello (attraverso i quali si valuta la parsimonia: più gradi di libertà ha il modello, più è parsimonioso). Questi indici penalizzano i modelli più complessi. Dati due modelli con un adattamento simile per gli stessi dati, un indice corretto favorisce il modello più semplice (quello con un numero maggiore di gradi di libertà). In questa classe troviamo il Root Mean Square Error of Approximation RMSEA (Steiger, 1990) e l'Expected Cross Validation Index ECVI (Browne e Cudeck 1989); i valori di RMSEA sono considerati soddisfacenti, e quindi l'adattamento del modello ai dati è buono, se sono inferiori a 0,05; valori fino a 0,08 sono considerati errori di approssimazione ragionevoli. L'ECVI è una misura della discrepanza tra la matrice di covarianza stimata e quella che si otterrebbe in un altro campione della stessa dimensione. Il valore assoluto

individuato deve essere confrontato con i valori calcolati per il modello saturo⁸ e per il modello di indipendenza totale: un valore per il modello stimato inferiore agli altri due indica un buon adattamento ai dati.

- 4) *Indici di adattamento predittivo*. Stimano l'adattamento del modello simulando diversi campioni probabilistici della stessa dimensione estratti da una popolazione.

Un problema comune a tutti gli indici di approssimazione è l'identificazione precisa dei valori che stabiliscono l'accettabilità del modello (Kline 2011).

4.3 Specificazione, calibrazione e validazione di modelli di scelta discreta

Oltre alla modellazione ad equazioni strutturali, una parte importante della ricerca ha riguardato la specificazione, calibrazione e validazione di modelli di scelta discreta e di modelli di scelta ibridi. Pertanto il presente paragrafo ed il successivo sono dedicati ad alcuni richiami metodologici relativi all'implementazione dei modelli di scelta.

I modelli di scelta, indipendentemente dalla loro forma, richiedono di essere:

- specificati
- calibrati
- validati

Banalmente, *specificare* un modello significa definire la forma funzionale (ovvero il tipo di modello) e le variabili di input (ovvero le utilità sistematiche). *Calibrare* un modello significa, invece, stimare i parametri dei modelli. Questi ultimi variano a seconda del modello utilizzato. Infine, *validare* il modello significa controllare quanto le probabilità di scelta (ottenute dai modelli applicati) interpretano bene il fenomeno, ovvero verificare se le ipotesi fatte abbiano una bontà riproduttiva, statistica ed interpretativa. Queste tre attività sono strettamente legate tra di loro poiché assieme costituiscono una procedura iterativa del tipo "trial and error" per ricercare il modello più opportuno.

4.3.1 Modelli di utilità aleatoria consolidati

Focalizziamo inizialmente l'attenzione sui modelli di scelta discreta consolidati, introdotti nel paragrafo 2.5.2 e maggiormente dettagliati nell'appendice A del suddetto lavoro. I concetti validi per tali modelli, infatti, rimarranno tali anche per i modelli avanzati.

4.3.1.1 Specificazione del modello

La specificazione del modello consiste nel definire:

- La forma funzionale del modello
- Le utilità sistematiche V_j che figurano in esso, tramite la definizione degli attributi X_k .

La scelta della forma funzionale del modello, ad esempio Logit Multinomiale o una delle altre proposte in appendice A, dipende da numerosi fattori quali la trattabilità computazionale, i modelli utilizzati in casi analoghi e le aspettative a priori sulla correlazione dei residui aleatori. In generale, la bontà delle ipotesi fatte può essere verificata a posteriori sulla base di test statistici di cui si dirà al paragrafo 4.3.1.3

L'utilità sistematica associata alla j -esima alternativa è funzione di specifici attributi e coefficienti di omogeneizzazione. In genere, per la definizione dell'utilità sistematica si assume una relazione lineare del tipo:

⁸ Un modello si dice saturo quando tutti i parametri che possono essere stimati sono calcolati e quindi la bontà del modello è massima, e il χ^2 e i gradi di libertà assumono un valore di 0.

$$V_j = CSA_j + \sum_k \beta_k X_k \quad \forall j \in I \quad (4.25)$$

In cui

CSA_j = Costante specifica dell'alternativa⁹

β_k = Coefficienti di omogenizzazione

X_k = Attributi

Tuttavia vi sono alcuni attributi (prevalentemente attributi di livello di servizio) per i quali potrebbe risultare più adeguata una rappresentazione non lineare, a discapito di un maggiore onere computazionale. In maniera elementare la fase di specificazione si articola rispondendo a 4 domande, delle quali è utile comprendere gli aspetti salienti:

- 1) Quali sono le alternative che conosce l'utente?
- 2) Qual è la disponibilità oggettiva delle alternative?
- 3) Quali sono gli attributi rilevanti?
- 4) Qual è la migliore funzione di scelta?

QUALI SONO LE ALTERNATIVE CHE CONOSCE L'UTENTE?

La prima operazione da fare in fase di specificazione di un modello di scelta consiste nella definizione dell'insieme di scelta, I , e dunque nella definizione di tutte le alternative tra le quali la classe, i , di utenti può scegliere. L'insieme di scelta viene definito dall'analista che prende in considerazione le alternative che mediamente gli utenti appartenenti alla classe i percepiscono. Questa fase della specificazione richiede quindi apposite indagini per comprendere quali sono le alternative mediamente percepite dagli utenti in funzione della classe di appartenenza.

QUAL È LA DISPONIBILITÀ OGGETTIVA DELLE ALTERNATIVE?

Definito l'insieme di scelta bisogna associare a ciascun utente l'effettiva disponibilità dell'alternativa. Per essere più chiari, l'analista potrebbe definire l'insieme I : {auto, autobus, treno}, tuttavia l'utente h appartenente alla classe di utenti individuata (ad esempio i = studenti universitari), potrebbe non possedere la patente, e dunque per l'utente h non si avrebbe disponibilità oggettiva dell'alternativa auto.

Questa fase è quindi dedicata all'individuazione di specifici criteri in grado di caratterizzare la non disponibilità oggettiva di alcune alternative. Di questo aspetto l'analista dovrà tenerne conto nella fase di costruzione del database su cui avverranno le calibrazioni del modello.

In genere, per definire la disponibilità oggettiva delle alternative si possono seguire due approcci:

- *Approccio a soglia o approccio deterministico*; in tal caso si introducono dei criteri deterministici di disponibilità. Ad esempio, se un utente ha almeno 18 anni si assume l'alternativa auto disponibile.
- *Approccio probabilistico*; in tal caso si associa una probabilità alla disponibilità dell'alternativa. Ad esempio, se consideriamo l'alternativa autobus possiamo associare ad essa una probabilità di disponibilità oggettiva pari ad 1 se la fermata è molto vicina all'origine dello spostamento ed ipotizzare valori via via decrescenti (tendenti a zero) man mano che la distanza dalla fermata aumenta. Questo secondo approccio, sebbene più preciso, richiede lo sviluppo di un apposito modello e dunque implica un ulteriore carico di lavoro.

⁹ Maggiori dettagli verranno forniti nel proseguo di questo paragrafo.

QUALI SONO GLI ATTRIBUTI RILEVANTI?

Gli attributi che ci permettono di caratterizzare l'utilità sistematica sono suddivisibili in differenti tipologie; ovviamente, a seconda della tematica investigata alcuni attributi verranno investigati ed altri meno:

- *Attributi socioeconomici*; si tratta di attributi che descrivono le caratteristiche sociali o economiche degli utenti e dunque sono attributi specifici degli utenti. Questa categoria di attributi permette di spiegare, a parità di altri attributi, alcuni particolari comportamenti di scelta. Alcuni esempi di attributi socio economici possono essere: l'essere uomo o donna, l'avere una maggiore o minore disponibilità economica, l'essere più o meno giovane, l'essere occupato o meno ecc. Molti di questi attributi sono di natura binaria ed in quanto tali vengono codificati, attribuendo il valore 1 o 0 a seconda che l'utente possieda o non possieda un attributo socioeconomico (es. $x_g=1$ se l'utente è maschio, 0 altrimenti). Alcuni di essi, invece, possono assumere valori discreti o continui (es. età, numero di componenti del nucleo familiare, numero di auto possedute in famiglia ecc.). In tal caso si provvede a discretizzare questi attributi individuando specifici sottoinsiemi. Ad esempio, si possono individuare diverse classi di età (classe 1= 0-10 anni, classe 2=11-20 anni, ecc.) e nota l'età dell'utente si può attribuire all'attributo età il valore 1 se l'età dell'utente appartiene ad una specifica classe ed il valore 0 in caso contrario.
- *Attributi territoriali*; tali attributi sono rivolti a descrivere le caratteristiche del territorio da cui ha origine lo spostamento o verso il quale ci spostiamo. Anche essi sono in genere di natura binaria o discreta.
- *Attributi legati alle caratteristiche dello spostamento*; spesso sia per esaminare delle scelte di spostamento che per esaminare delle scelte di mobilità risulta utile conoscere quali siano le abitudini di spostamento degli utenti, in termini di frequenza dello spostamento, distanza percorsa, modo utilizzato per lo spostamento ecc.
- *Attributi di livello di servizio*; questi attributi rappresentano la categoria di attributi più importanti perché le politiche di trasporto a breve termine sono direttamente incidenti su di essi, inoltre si tratta anche della classe di attributi che influenza maggiormente le scelte degli utenti nel caso in cui si considerino spostamenti sistematici. Si tratta di specifici attributi che individuano il grado di connettività ed il servizio offerto e che siamo in grado di stimare sfruttando il modello di offerta di trasporto. In genere rientrano in questo gruppo anche il tempo di viaggio ed il costo monetario associati ad una specifica alternativa di spostamento.
- *Attributi caratteristici delle scelte esaminate*; A seconda della tipologia di scelta esaminata l'analista potrebbe ritenere necessario esaminare, sulla scorta di precedenti studi di letteratura, il ruolo di alcune informazioni piuttosto che altre nella definizione dell'utilità associata alle diverse alternative di scelta. Ad esempio, nell'ipotesi in cui si voglia studiare la scelta di acquisto di un veicolo, l'analista potrebbe ritenere che l'utilità associata a ciascuna alternativa sia influenzata da specifiche caratteristiche tecniche, che pertanto andrebbero considerate come attributi che concorrono a definire l'utilità delle alternative dell'insieme di scelta. Queste stesse informazioni, invece, potrebbero non essere prese in considerazione nel caso in cui si consideri la scelta del modo per spostarsi o dell'orario in cui spostarsi.
- *Attributi specifici dell'alternativa, ASA*; si tratta di attributi che assumono valore sempre unitario e che pertanto giocano un ruolo maggiore o minore a seconda del coefficiente (che in questo caso viene indicato come costante specifica dell'alternativa, CSA) ad essi associati. Questi attributi vengono introdotti per tenere conto di alcuni fattori, legati alla generica alternativa, che non possono essere direttamente misurati o che semplicemente non vengono tenuti in conto dall'analista.

La loro introduzione risulta utile per comprendere se effettivamente una politica di intervento avrà effetto o meno sulle scelte degli utenti. Se a valle della calibrazione la CSA associata all'ASA risulta bassa, allora questo attributo non misurabile è poco significativo; in caso contrario l'utilità percepita associata all'alternativa in esame è particolarmente influenzata da motivi non misurabili, ragion per cui l'applicazione di apposite politiche di intervento difficilmente determinerà una diversa scelta dell'utente.

Al di là della tipologia di appartenenza degli attributi, la scelta degli attributi dipende dal particolare tipo di modello che si intende costruire. Tuttavia, vi sono alcune precauzioni che andrebbero osservate:

- 1) Come spiegato nel capitolo 2 i modelli tradizionali di scelta discreta sono dei modelli invarianti ed in quanto tali le probabilità di scelta dipendono dalle differenze tra le utilità percepite delle alternative e non dal livello assoluto delle utilità percepite stesse. Ne consegue che, aggiungendo uno stesso attributo (con lo stesso coefficiente), a tutte le alternative dell'insieme di scelta, l'attributo in esame non fornirebbe alcuna informazione aggiuntiva nel calcolo delle probabilità di scelta. Ne scaturisce una regola di corretta specificazione secondo cui in un modello di utilità aleatoria invariante con m alternative si possono introdurre al più $m-1$ ASA indipendenti. Se si commettesse l'errore di definire m ASA indipendenti in fase di calibrazione il problema risulterebbe indefinito poiché avremmo infiniti valori di CSA in grado di fornire lo stesso valore di utilità per tutte le alternative.
- 2) Bisognerebbe evitare attributi collineari, ovvero linearmente dipendenti gli uni dagli altri, poiché anche in questo caso il problema risulterebbe indefinito (esistono infiniti valori dei coefficienti che possono determinare lo stesso valore di utilità sistematica e dunque la stessa probabilità di scelta). Questa circostanza renderebbe impossibile stimare (identificare) separatamente i relativi coefficienti in fase di calibrazione del modello.
Spesso gli attributi socioeconomici risultano essere collineari. Se una caratteristica socioeconomica, come il reddito o il possesso dell'auto, è costante per tutte le alternative, essa può essere introdotta nella funzione di utilità di tutte le alternative tranne una. In ogni caso, le variabili socioeconomiche non andrebbero impiegate come attributi specifici dell'alternativa.
- 3) Bisognerebbe evitare attributi correlati tra di loro, anche se non in maniera lineare. Ad esempio se il tempo di viaggio è ricavato dalla distanza, assumendo una velocità costante, il tempo di viaggio e la distanza non dovrebbero essere introdotti in fase di specificazione del modello come due distinte variabili. Quanto appena detto non rende il problema indefinito, ma potrebbe indurre tempi di calibrazione elevati.

QUAL È LA MIGLIORE FUNZIONE DI SCELTA?

Definire la funzione di scelta più opportuna significa scegliere che modello adottare. Questa scelta dipende da numerosi fattori quali la trattabilità computazionale o le aspettative a priori sulla correlazione dei residui aleatori. In genere la scelta viene effettuata in maniera iterativa. Tipicamente si specifica dapprima il modello omoschedastico più opportuno, che in maniera semplice consente di interpretare il fenomeno e di individuare gli attributi significativi. Di seguito si possono implementare dei modelli eteroschedastici se è necessario ottenere una maggiore riproducibilità della realtà.

4.3.1.2 Calibrazione del modello

La fase di calibrazione del modello consiste nella stima dei parametri del modello. È quindi evidente che il numero parametri da stimare dipende, oltre che dagli attributi considerati per la definizione dell'utilità sistematica, anche dal modello adottato. Volendo essere più chiari, ad esempio:

- per il modello Logit Multinomiale (MNL), nel quale la probabilità di scelta si esplicita come segue

$$p[j] = \frac{\exp\left(\frac{V_j}{\theta}\right)}{\sum_{i=1}^m \exp\left(\frac{V_i}{\theta}\right)} \quad (4.26)$$

andrebbero stimati tutti i β relativi agli attributi considerati per la definizione della funzione di utilità sistematica ed il parametro θ , relativo alla distribuzione dei residui aleatori presa in considerazione nel suddetto modello. Tuttavia, per l'invarianza del modello ciò che viene effettivamente calibrato è il rapporto $\frac{\beta_k}{\theta} = \beta_k^* \quad \forall k \in K$, in cui K individua l'insieme degli attributi considerati

- Per il modello Logit gerarchizzato (NL, dall'inglese Nested Logit), invece, oltre ai rapporti $\frac{\beta_k}{\theta}$ vanno calibrati anche i parametri $\delta = \frac{\theta}{\theta_0}$

I modelli di scelta permettono di definire la probabilità che un utente scelga un'alternativa piuttosto che un'altra. Calibrare il modello significa definire quei valori dei parametri del modello tale che la probabilità di scelta dell'alternativa j sia il più possibile uguale a 1, se j è l'alternativa scelta.

Indipendentemente dal modello applicato i parametri del modello vengono calibrati ricorrendo al Metodo della Massima Verosimiglianza, MN (dall'inglese Maximum Likelihood). Il metodo è così chiamato perché massimizza la verosimiglianza, ovvero permette di definire i valori dei parametri che massimizzano le probabilità di osservare il fenomeno reale, rilevato tramite opportune indagini. Il fenomeno reale osservato consiste in delle scelte indipendenti relative ad utenti diversi.

La probabilità di osservare tutte le scelte, poiché le scelte sono indipendenti tra di loro, è uguale al prodotto delle probabilità.

Dunque, nel metodo, la verosimiglianza viene espressa come la produttoria riferita al numero di interviste (n) delle probabilità di scelta:

$$L = \prod_{i=1}^n p_i(j) \quad \forall j \in I \quad (4.27)$$

Dove

- L = funzione di verosimiglianza
- n = numero di osservazioni / interviste
- $p_i(j)$ = probabilità che l'utente I scelga l'alternativa j
- \prod = simbolo di produttoria

Chiaramente nella relazione 4.27 le $p_i(j)$ sono funzione dei parametri β degli attributi e dei parametri del modello (rappresentabili banalmente tramite la matrice di varianza-covarianza, Σ). Di conseguenza risultando:

$$L = f(\beta, \theta) \quad (4.28)$$

È chiaro che i parametri del modello vengono calibrati massimizzando la funzione di verosimiglianza:

$$[\beta, \theta]_{ML} = \argMax L(\beta, \theta) = \argMax \left[\prod_{i=1}^n p_i(j) \right] \quad (4.29)$$

Oppure in maniera più conveniente la funzione log-likelihood, $\ln L(\beta, \theta)$, il cui studio risulta più semplice poiché associato allo studio di un operatore somma piuttosto che allo studio di un operatore produttoria.

$$\ln L(\beta, \theta) = \sum_{i=1}^n \ln [p_i(j)] \quad (4.30)$$

4.3.1.3 Validazione del modello

Validare il modello significa verificare che i parametri calibrati siano ragionevoli e significativi e che il modello stesso abbia una buona capacità di riprodurre le scelte effettuate dai singoli utenti. Inoltre in questa fase vengono verificate anche le ipotesi alla base della forma funzionale assunta per il modello implementato.

Queste attività vengono quindi effettuate tramite:

- 1) La conduzione di test formali ed informali
- 2) Il calcolo di indicatori di bontà di accostamento ai dati a disposizione (goodness of fit)

CONDUZIONE DI TEST

I test condotti in fase di valutazione si suddividono in due categorie: test informali e test formali.

A) *I test informali*

I test informali che vengono condotti sono di due tipi ed entrambi sono rivolti ai coefficienti del modello. Nello specifico le due tipologie in esame riguardano o il segno dei coefficienti o i rapporti reciproci tra i coefficienti. Segni errati dei coefficienti indicano che molto probabilmente ci sono errori nella base dati utilizzata per il calcolo degli attributi, nei risultati dell'indagine ovvero nella specificazione del modello. I test informali relativi ai segni dei coefficienti consistono nel verificare che i segni dei coefficienti considerati sono ragionevoli rispetto al ruolo che l'attributo gioca sulla definizione dell'utilità sistematica. In genere, ad esempio, se consideriamo l'utilità associata ad un certo spostamento è immediato aspettarci che i coefficienti relativi agli attributi di livello di servizio abbiano segno negativo; meno immediata è la definizione dei segni relativi ad attributi socio-economici o di differenti tipologie. Tuttavia precedenti studi di letteratura relativi al tema investigato possono aiutare nel definire che segni aspettarci relativamente agli attributi presi in considerazione.

Effettuati i test sui segni dei coefficienti si passa ai test sui reciproci rapporti tra i coefficienti. Questi ultimi consistono nel confrontare i parametri β_k^* calibrati con un certo parametro di riferimento, che in genere è il parametro relativo ai costi monetari: $\frac{\beta_k^*}{\beta_{rif}}$. Il rapporto in esame rappresenta il peso reciproco dei due coefficienti. Tale peso va poi confrontato con i valori di letteratura.

B) *I test formali*

Superati i test informali si effettuano dei test formali di natura statistica. Anche in questo caso si distinguono diverse tipologie.

La prima tipologia consiste nel test "t-student sui singoli coefficienti", che permette di verificare se la calibrazione dei singoli coefficienti è statisticamente affidabile. Questi test verificano l'ipotesi nulla (H_0) che un coefficiente β_k^* sia pari a zero e la stima sia diversa da zero per effetto di errori campionari ($H_0: \beta_k^* = 0$). Essi sono basati sulla statistica t-Student:

$$t = \frac{\beta_k^*}{\sqrt{\sigma^2(\beta_k^*)}} \quad (4.31)$$

In cui

- $\sigma^2(\beta_k^*) = \text{varianza di } \beta_k^*$
- $\sqrt{\sigma^2(\beta_k^*)} = \text{deviazione standard di } \beta_k^*$

Si assume che il parametro abbia un livello di affidabilità almeno pari al 95% se risulta $t \geq \pm 1,96^{10}$.

In genere per valori di $t \geq \pm 0.9$ si ha comunque un'affidabilità del parametro in esame dell'60% e quindi ha senso considerare il parametro stesso. Valori di t compresi nell'intervallo $[-0.9, +0.9]$ indicano un attributo non significativo.

¹⁰ Sia per questo test che per il successivo, nell'ipotesi nulla la statistica t è distribuita secondo una variabile t-Student con un numero di gradi di libertà pari alla dimensione del campione meno il numero di coefficienti stimati. Tuttavia, si assume di solito che la statistica t sia distribuita come una variabile normale standard, che rappresenta la distribuzione limite della variabile t di Student al crescere del numero dei gradi di libertà; l'ipotesi nulla viene rifiutata con una probabilità α di commettere un errore di I specie (ovvero rigettare un'ipotesi vera) se il valore della statistica t è esterno all'intervallo di estremi che, per $\alpha = 0.05$, valgono ± 1.96 .

Un secondo test di tipo formale è il test “t-student sulle differenze tra due coefficienti”, volto ad individuare se due coefficienti pressoché simili possano, in realtà, ritenersi uguali. In questo caso, quindi, la statistica t-Student può essere utilizzata per verificare che due coefficienti β_k^* e β_j^* siano uguali ($H_0: \beta_k^* = \beta_j^*$). Anche in tal caso viene valutato il valore di t, questa volta con la seguente formula:

$$t = \frac{\beta_k^* - \beta_j^*}{\sqrt{\sigma^2(\beta_k^*) + \sigma^2(\beta_j^*) - 2\sigma_{kj}}} \quad \forall k, j \in K \quad (4.32)$$

In cui

- $2\sigma_{kj}$ = covarianza tra i parametri j e k
- $\sqrt{\sigma^2(\beta_k^*) + \sigma^2(\beta_j^*) - 2\sigma_{kj}}$ = deviazione standard

Se $t \geq \pm 1,96$ i due coefficienti sono statisticamente simili e si possono uniformare.

I due test t-student fin qui esaminati sono dei test formali sui coefficienti del modello. Viene poi effettuata un'ulteriore tipologia di test formali che è invece rivolta alla forma funzionale del modello. Il test in esame prende il nome di “test Likelihood ratio, LR” e confronta le loglikelihood di due modelli differenti al fine di capire se la differenza tra i due è statisticamente significativa. Se la differenza tra due modelli non si rivelasse statisticamente significativa avrebbe senso utilizzare il modello più semplice per riprodurre le probabilità di scelta. Il modello più semplice a cui si può pensare è un modello in cui tutti i coefficienti assumono valore pari a zero (modello di equiprobabilità di scelta). Il modello che noi calibriamo deve essere almeno in grado di battere questo modello più semplice, il che equivale a dire che la quantità che segue deve risultare diversa da zero:

$$LR = -2 [\ln L(0) - \ln L(\beta_k^*)] \quad (4.33)$$

Il test in esame assume poi maggiore significato se il confronto viene effettuato con modelli meno semplici. Quanto più la differenza rappresentata dalla quantità LR è piccola tanto più i due modelli confrontati si somigliano:

$$LR = -2 [\ln L(\beta_k) - \ln L(\beta_k^*)] \quad (4.34)$$

Nell'ipotesi nulla ($H_0: \beta_k^* = 0$), la statistica LR è asintoticamente distribuita secondo una variabile χ^2 con un numero di gradi di libertà pari a N_β (numero di coefficienti).

Nel caso più generico di confronto con un altro modello, la statistica LR è asintoticamente distribuita secondo una variabile χ^2 con un numero di gradi di libertà pari ai vincoli imposti nello stimare β_k^* .

ANALISI DELLA CAPACITÀ RIPRODUTTIVA DEI DATI

La capacità del modello di riprodurre le scelte effettuate da un campione di utenti può essere misurata utilizzando la statistica del rho-quadro ρ^2 :

$$\rho^2 = 1 - \frac{\ln L(\beta_k^*)}{\ln L(0)} \quad (4.35)$$

Tale statistica è una misura normalizzata nell'intervallo [0,1], con la quale si confronta il valore della verosimiglianza del modello calibrato con quello del modello più semplice, ovvero quello equiprobabilistico. Se risulta:

- $\rho^2 = 0$ il modello non ha alcuna capacità esplicativa, infatti $L(\beta_k^*) = L(0)$
- $\rho^2 = 1$ il modello fornisce una probabilità unitaria di osservare le scelte effettivamente compiute da ciascun utente del campione e quindi esso presenta una perfetta capacità riproduttiva.

Chiaramente è impossibile ottenere questo risultato

I valori di ρ^2 che è possibile ottenere sono quindi compresi nell'intervallo [0,1]. Quanto più il valore si avvicina ad 1 tanto maggiore sarà la capacità riproduttiva del modello.

In alternativa, si può utilizzare la statistica rho-quadro corretta, che sostituisce alla funzione log-likelihood $\ln L(\beta_k^*)$ la sua stima corretta $\ln L(\beta_k^*) - N_\beta$ dove N_β è il numero di parametri stimati nel modello:

$$\bar{\rho}^2 = 1 - \frac{\ln L(\beta_k^*) - N_\beta}{\ln L(0)} \quad (4.36)$$

La 4.36 cerca di eliminare l'effetto del numero di parametri inclusi nella specificazione del modello, per rendere confrontabili fra loro modelli con diverse numerosità di parametri.

Oltre alle statistiche ρ^2 e $\bar{\rho}^2$, si possono utilizzare altre statistiche sintetiche per valutare qualitativamente la goodness of fit del modello calibrato. Una di tali statistiche (*% right*) si riferisce alla percentuale di osservazioni nel campione per le quali l'alternativa effettivamente scelta è quella di massima probabilità predetta dal modello, ovvero di massima utilità sistematica. Un'altra statistica sintetica è basata sul confronto tra la percentuale di scelta osservata e quella predetta dal modello per ciascuna alternativa. La percentuale di scelta osservata è data dal rapporto fra il numero di utenti che sceglie ciascuna alternativa e il numero totale di utenti per i quali essa è disponibile; la percentuale predetta dal modello è ottenuta come media aritmetica delle probabilità di scelta fornite dal modello per gli utenti che hanno l'alternativa disponibile.

4.3.2 Modelli di utilità aleatoria ibridi

Come già anticipato nel capitolo 2 un modello ibrido di scelta, HCM, si compone di due parti: un Modello di Scelta Discreta e un Modello a Variabili Latenti ciascuno dei quali è costituito da una o più *equazioni strutturali* e da una o più *equazioni di misurazione*.

Il presente paragrafo sarà dedicato alla specificazione delle equazioni strutturali e di misurazione e alla calibrazione dei modelli ibridi. La trattazione, per semplicità, sarà condotta tramite degli utili riferimenti ai modelli di scelta discreta, che sono parte integrante degli stessi modelli ibridi.

4.3.2.1 SPECIFICAZIONE DEI MODELLI INTEGRATI DI SCELTA DISCRETA CON VARIABILI LATENTI

Le equazioni strutturali legano le variabili latenti a variabili esplicative direttamente osservabili, mentre le equazioni di misurazione legano le variabili latenti ad alcuni indicatori osservabili.

Affinché quanto appena detto risulti chiaro si consideri inizialmente il solo modello di scelta discreta. Le scelte dell'utente dipendono, oltre che da un certo residuo aleatorio, dall'utilità sistematica che l'utente associa all'alternativa. La funzione di utilità sistematica definita nei modelli di scelta discreti (4.25) è un'equazione strutturale (di conseguenza risulta un'equazione strutturale anche l'espressione dell'utilità percepita, 2.6), poiché lega la variabile latente (utilità) alle variabili di input direttamente osservabili (attributi socioeconomici, attributi del livello di servizio, ecc.). Le scelte effettuate dagli utenti (note tramite indagini sulle preferenze rilevate, RP o dichiarate, SP), in accordo alla teoria di utilità aleatoria corrispondono all'alternativa che massimizza l'utilità individuale. Questa corrispondenza è rappresentata da un'equazione di misurazione che chiarisce come la variabile latente (utilità) sia legata agli indicatori di scelta osservabili (risultati delle indagini).

Il set di equazioni (strutturale e di misurazione) che descrive un modello di scelta discreta è quindi dato da:

$$U_{in} = X_{in}\beta + \varepsilon_{in} \quad (4.37)$$

$$y_{in} = \begin{cases} 1, & \text{se } U_{in} > U_{jn} \quad \text{con } j \neq i \\ 0, & \text{altri menti} \end{cases} \quad (4.38)$$

dove

U_{in} = utilità dell'alternativa i percepita dall'utente n ,

X_{in} = vettore riga degli attributi relativi all'alternativa i e alle caratteristiche socioeconomiche dell'utente n ,

β = vettore colonna dei parametri da calibrare,
 ε_{in} = vettore del residuo aleatorio,
 y_{in} = *indicatore di scelta* che definisce se l'alternativa i è scelta dall'individuo n o meno, correlando la scelta alla variabile latente di utilità.

Nei modelli di scelta ibridi, al modello di scelte discrete è affiancato il modello a variabili latenti, anch'esso definito tramite equazioni strutturali ed equazioni di misurazione. In questo caso, le equazioni strutturali legano una generica variabile latente, Z , alle variabili esplicative (in genere socioeconomiche), direttamente osservabili, x_n . Le equazioni di misurazione, invece, legano le variabili latenti agli indicatori ottenuti tramite le indagini effettuate.

Da un punto di vista operativo gli indicatori ricavati dalle indagini assumono generalmente una scala ordinale, tuttavia, in letteratura si riporta una distinzione tra tre diverse tipologie di indicatori: continui, binari ed ordinali. Per non interrompere il discorso inerente le equazioni complessive che costituiscono i modelli di scelta ibridi, maggiori informazioni sulle espressioni degli indicatori, relativamente alle tre forme, verranno forniti di seguito.

In accordo a quanto suddetto, integrando il modello di scelta discreta ed il modello a variabili latenti si perviene al seguente set di equazioni, rappresentativo di un modello di scelta ibrido:

Equazioni strutturali

LVM : $Z = h(\lambda; x_n) + \omega_n \quad \text{con } \omega_n \sim N(0, \Sigma_\omega) \quad (4.39 \text{ a})$

DCM: $U_n = m(Z, x, \beta) + \varepsilon_n \quad (4.39 \text{ b})$

Equazioni di misurazione

LVM : $I_n = f(Z, \rho) + \varepsilon_n \quad \text{con } \varepsilon_n \sim N(0, \Sigma_\varepsilon) \quad (4.40 \text{ a})$

DCM: $y_{in} = \begin{cases} 1, & \text{se } U_{in} > U_{jn} \quad \text{con } j \neq i \\ 0, & \text{altri menti} \end{cases} \quad (4.40 \text{ b})$

dove

- LVM = latent variable model = modello a variabili latenti
- DCM= discrete choice model = modello di scelta discreta
- h,m,f= funzione di (·)
- Z = vettore delle variabili latenti di dimensione (Lx1), dove L indica il numero di variabili latenti
- x_n = vettore delle variabili esplicative (in genere socioeconomiche, e quindi associate all'utente n) che influenzano le variabili latenti. Il vettore ha dimensione (Mx1), dove M è il numero delle variabili esplicative.
- ω_n =vettore delle componenti di errore, che generalmente si ipotizzano essere normalmente e indipendentemente distribuite, con media nulla e varianza θ_ω .
- λ = matrice di parametri sconosciuti, di dimensione (LxM)
- Σ_ω = matrice (LxL) di varianza-covarianza associata alle definizioni delle variabili latenti
- U_n = vettore delle utilità di dimensione (Jx1), con j che indica il numero di alternative
- ε_n = vettore, di dimensione (Jx1), dei residui aleatori (distribuiti secondo quanto previsto dal modello di scelta discreto)
- x = vettore degli attributi (variabili esplicative) adottati normalmente per la definizione delle utilità sistematiche nei modelli di scelta discreta (es. attributi di livello di servizio)
- β = vettore di parametri sconosciuti di dimensione (Kx1), in cui K è il numero di variabili (esplicative e latenti) considerato.
- I_n = vettore degli indicatori delle variabili latenti associate all'individuo n e di dimensione (Rx1), dove R è il numero di indicatori ritenuti rappresentativi per una stessa variabile
- ρ = vettore di parametri da calibrare
- ε_n = vettore, di dimensione (Rx1), delle componenti di errore, che generalmente si ipotizzano essere normalmente e indipendentemente distribuite, con media nulla e varianza θ_ε .

- Σ_{ϵ} = matrice di varianza-covarianza diagonale, con i termini di varianza sulla diagonale.
- y_{in} = indicatore di scelta che definisce se l'alternativa i è scelta dall'individuo n o meno. Tutti i valori y_{in} sono raccolti in un vettore y_n di dimensione $(J \times 1)$.

Ciò premesso al fine di avere una visione più immediata delle forme assunte dalle equazioni in esame risulta utile esplicitare le funzioni h , m , ed f e specificare le equazioni 4.39 e 4.40 con riferimento ad un elemento del vettore del quale esse sono rappresentative.

La più comune specificazione per la funzione h è di tipo lineare. Specificando tale funzione la generica variabile latente Z_i assume la forma:

$$Z_i = \left(\bar{Z}_i + \sum_{m=1}^M \lambda_m x_m \right) + \omega \quad (4.41)$$

in cui \bar{Z}_i è l'intercetta e M è il set di variabili esplicative considerate per la definizione della variabile latente in esame.

Anche per la funzione m la più comune forma di specificazione è di tipo lineare. Di conseguenza, l'utilità percepita associata alla generica alternativa j si può esplicitare come:

$$U_j = \left[\left(\sum_s \beta_s \cdot x_s + \beta_{ASA} \cdot ASA \right) + \sum_{L_j} \beta_{Z_j} \cdot Z_j \right] + \varepsilon \quad (4.42)$$

in cui il termine in parentesi tonda rappresenta l'utilità sistematica associata alla generica alternativa j nei modelli di scelta discreti e L_j individua il set di variabili latenti che influenzano la scelta dell'alternativa j .

Infine la funzione f è una funzione di tipo regressivo, con struttura simile a quella della funzione m . Difatti, il generico indicatore r può essere legato alla variabile latente di cui è rappresentativo dalla relazione:

$$I_r = (\bar{I}_r + \rho_Z \cdot Z_i) + \epsilon_r \quad (4.43)$$

in cui \bar{I}_r è l'intercetta ed ϵ_r è il termine di errore che segue una distribuzione normale con varianza θ_{ϵ} .

A questo punto, come anticipato, risulta importante focalizzare l'attenzione sulle equazioni di misurazione che legano il generico indicatore, I_r (ottenuto dai sondaggi effettuati), alle variabili latenti. Come accennato gli indicatori vengono distinti in letteratura in grandezze:

- continue,
- binarie,
- ordinali, ovvero riferite ad una scala di gradimento dell'aspetto investigato. In genere gli indicatori psicometrici rappresentativi delle variabili latenti associate alle attitudini e alle percezioni, risultano essere ordinali poiché vengono codificati utilizzando una scala di gradimento che permetta di misurare il grado di approvazione/disapprovazione con un'affermazione riportata nel sondaggio; la scala più spesso utilizzata è la scala Likert (Likert, 1932), a 5 livelli (T=5):
 1. Fortemente approvato
 2. Approvato
 3. Indeciso
 4. Disapprovato
 5. Fortemente disapprovato.

Da un punto di vista pratico la maggior parte delle le grandezze ottenute in fase di indagine sono discrete, ma la funzione di regressione (4.43) utilizzata è una funzione continua. Ne consegue che a seconda del tipo di indicatore, l'equazione di misurazione (4.43) viene codificata diversamente.

Nel caso di un indicatore continuo, la relazione tra l'indicatore e la variabile latente si esplicita proprio tramite la relazione 4.38.

Nel caso binario, indicando con I_r^* un indicatore continuo non osservato (relazione 4.43), si ottiene la seguente equazione di misurazione:

$$I_r = \begin{cases} 1, & \text{se } I_r^* > 0 \\ 0, & \text{altri menti} \end{cases} \quad (4.44)$$

Un esempio di indicatore binario è l'indicatore di scelta. È facile verificare che relazione 4.40b, nel caso in cui siano effettuate delle indagini SP, corrisponde alla relazione 4.44. Difatti, fornendo all'intervistato due scenari di scelta, verrà attribuito il valore 1 allo scenario scelto ed il valore 0 a quello non scelto. Infine, nel caso di indicatori ordinali l'equazione di misurazione si esplicita come:

$$I_r = \begin{cases} 1 & \text{se } \tau_0 < I_r^* \leq \tau_1 \\ 2 & \text{se } \tau_1 < I_r^* \leq \tau_2 \\ \vdots & \\ i & \text{se } \tau_{i-1} < I_r^* \leq \tau_i \\ \vdots & \\ t & \text{se } \tau_{t-1} < I_r^* \leq \tau_t \end{cases} \quad (4.45)$$

in cui τ individua dei valori soglia da stimare, sulla scorta dei quali si assume l'appartenenza dell'indicatore continuo, I_r^* , stimabile in funzione delle variabili latenti, ad un livello piuttosto che ad un altro.

Per convenzione si assume che τ_0 e τ_T siano rispettivamente pari a $-\infty$ e $+\infty$.

Poiché gli indicatori ordinali sono espressi con una scala numerica da 1 a t , l'equazione di misurazione che individua la probabilità che l'indicatore continuo I_r^* sia contenuto in un certo range di valori, si esplicita differentemente a seconda della funzione di distribuzione assunta per i residui aleatori che figurano nell'espressione di I_r^* .

4.3.2.2 CALIBRAZIONE DEI MODELLI DI SCELTA IBRIDI

Chiarito ciò è evidente che nelle equazioni strutturali e di misurazione figurano diversi parametri da calibrare, operazione che in genere viene effettuata ricorrendo alle tecniche di massima verosimiglianza. Il metodo più intuitivo per definire una funzione di verosimiglianza del modello integrato consiste nel partire dalla definizione della probabilità di scelta di un modello senza variabili latenti. Infatti, se le variabili latenti non fossero presenti, le probabilità di scelta del modello ibrido corrisponderebbe proprio alla probabilità di scelta del modello di scelte discrete, ovvero:

$$p(y_n|x, \beta, \theta_\varepsilon) = \text{Prob} [U_{in} > U_{jn}] \quad \forall j \in I] \quad (4.46)$$

in cui β è il set di parametri da stimare associate alle variabili esplicative x e θ_ε è la deviazione standard del termine di errore nell'equazione 4.39b.

Analogamente, considerando anche le variabili latenti, la probabilità del modello di scelta discreta dovrà dipendere anche dalle altre voci che figurano nell'equazione strutturale di utilità:

$$p(y_n|x, Z, \beta, \lambda, \theta_\varepsilon, \theta_\omega) \quad (4.47)$$

Dove θ_ω è la deviazione standard del termine di errore nell'equazione 4.39a.

In questo caso, ipotizzati dei costrutti latenti Z , le relative funzioni di densità e le componenti d'errore, la funzione di verosimiglianza, poiché le variabili latenti non sono direttamente osservabili, sarà data dall'integrale esteso ai costrutti latenti del modello di scelta:

$$p(y_n|x, Z, \beta, \lambda, \theta_\varepsilon, \theta_\omega) = \int_Z p(y_{in}|x, Z, \beta, \theta_\varepsilon) f_1(Z|x_n, \lambda, \theta_\omega) dZ \quad (4.48)$$

che è un'integrale di dimensione pari al numero delle variabili latenti e dove f_1 è la funzione di densità delle variabili latenti, mentre λ è il set di parametri da stimare associato alle variabili esplicative x_n .

Nel modello ibrido gli indicatori vengono introdotti per caratterizzare le variabili latenti inosservabili e delle quali permettono l'identificazione. Gli indicatori, inoltre, aumentano l'efficienza di stima del modello, aggiungendo contenuti informativi. La probabilità congiunta di osservare gli indicatori di scelta, y_n , e gli indicatori latenti, I_n , si può esplicitare come:

$$p(y_n, I_n | x, Z, \Lambda, \theta) = \int_{x^*} p(y_n | x, Z, \beta, \theta_\epsilon) f_1(Z | x_n, \lambda, \theta_\omega) f_2(I_n | Z, \rho, \theta_\epsilon) dZ \quad (4.49)$$

dove θ tiene conto delle deviazioni standard di tutti i termini di errore ($\theta_\epsilon, \theta_\omega, \theta_\omega$) che figurano nell'equazione strutturale di utilità, mentre Λ tiene conto di tutti i parametri sconosciuti, da stimare (β, λ, ρ), che figurano nell'equazione strutturale di utilità ed f_2 è la funzione di densità degli indicatori.

In generale, la funzione di densità del vettore indicatori è data da:

$$f_2(I_n) = \prod_{r=1}^R f(I_r) \quad (4.50)$$

Nell'ipotesi che i residui aleatori degli indicatori abbiano una distribuzione normale, la funzione di densità del singolo indicatore si esplicita come segue nei tre diversi casi:

a) Se l'equazione di misurazione I_r è continua, allora la funzione di densità $f(I_r)$ si esplicita come:

$$f(I_r) = \frac{1}{\theta_\epsilon} \phi\left(\frac{I_r - \bar{I}_r - Z_i}{\theta_\epsilon}\right) \quad (4.51)$$

dove ϕ è la funzione di probabilità di densità di una variabile standard normale.

b) Se l'equazione di misurazione r corrisponde ad una risposta binaria, allora si ha:

$$f(I_r) = \Phi\left(\frac{\bar{I}_r + Z_i}{\theta_\epsilon}\right)^{I_r} \left(1 - \Phi\left(\frac{\bar{I}_r + Z_i}{\theta_\epsilon}\right)\right)^{(1-I_r)} \quad (4.52)$$

dove Φ è la funzione di distribuzione cumulata di una variabile standard normale.

c) Infine, se l'equazione di misurazione corrisponde ad una risposta ordinale, allora si ha:

$$f(I_{rn} = i) = \Phi\left(\frac{\tau_i - Z_i}{\theta_\epsilon}\right) - \Phi\left(\frac{\tau_{i-1} - Z_i}{\theta_\epsilon}\right) \quad (4.53)$$

Ad eccezione del caso continuo, la varianza θ_ϵ non può essere stimata è pertanto essa è fissata pari ad 1. Si precisa che il modello di scelta può avere una qualsiasi forma (Logit, Probit, etc.) e può includere diversi indicatori di scelta (Preferenze Dichiarate e Rivelate). Tuttavia, la risoluzione dell'integrale multidimensionale (tante dimensioni quante sono le variabili latenti) 4.44 non è semplice quando si ha un elevato numero di variabili latenti (più di tre) e per tale motivo, ai fini pratici, esso viene spesso risolto con una tecnica di simulazione (smooth simulator). Infatti, assunto che ϵ_n sia i.i.d come una variabile di Gumbel, la probabilità di scelta ha la forma di un logit multinomiale, che conduce alla seguente espressione:

$$p(y_n, I_n | X_n, x_n^*, \delta) = \int_Z \frac{\exp(X_{in}\beta + Z_i\beta)}{\sum_j \exp(X_{jn}\beta + Z_j\beta)} f_1(Z | x_n, \lambda, \theta_\omega) f_2(I_n | Z, \rho, \theta_\epsilon) dZ \quad (4.54)$$

Sfruttando questa forma, la probabilità di scelta può essere espressa tramite la seguente media empirica:

$$p(y_n, I_n | X_n, x_n^*, \delta) = \frac{1}{S} \sum_{s=1}^S \frac{\exp(X_{in}\beta + Z_i^s\beta)}{\sum_j \exp(X_{jn}\beta + Z_j^s\beta)} f_2(I_n | Z, \rho, \theta_\epsilon) \quad (4.55)$$

dove Z^s è un'estrazione casuale specifica di Z indicizzata da s , S è il numero totale di estrazioni.

La stima del Modello con Variabili Latenti può essere effettuata mediante l'utilizzo di due differenti metodologie:

- Stima Sequenziale: le variabili latenti sono stimate separatamente ed incluse nel modello di scelta discreta come variabili esogene.
- Stima Simultanea: le variabili latenti sono stimate congiuntamente al Modello di Scelta Discreta.

Nella stima sequenziale il problema è trattato in due fasi, separando il modello a variabili latenti dal modello di scelta discreta:

- nella prima fase si stimano i parametri delle equazioni che mettono in relazione le variabili latenti e gli indicatori di percezione con le variabili esplicative, implementando un modello MIMIC (Multiple Indicator Multiple Cause). In tale modello (Bollen, 1989) le variabili latenti, η_{ilq} , sono spiegate dalle caratteristiche, S_{iqr} , degli utenti attraverso l'equazione strutturale 4.56, rappresentativa della parte MIC del modello; contemporaneamente, le variabili latenti spiegano la percezione degli indicatori, y_{ipq} , attraverso l'equazione di misurazione 4.57, rappresentativa della parte MI del modello.

Si precisa che il modello di equazioni strutturali è un modello stocastico nel quale ogni equazione rappresenta un legame causale e si ricorda che poiché l'equazione (4.57) spiega che gli indicatori sono una manifestazione delle variabili latenti si avrà un'equazione per ogni indicatore cioè per ogni domanda del questionario, mentre poiché l'equazione (4.56) relaziona le variabili esplicative alle variabili latenti, si avrà un'equazione per ogni variabile latente. Infine, siccome le variabili latenti sono sconosciute, le equazioni 4.56 e 4.57 devono essere considerate congiuntamente per il processo di stima dei parametri.

$$\text{Parte MIC del modello} \quad \eta_{ilq} = \left(\sum_r \alpha_{ilr} \cdot S_{iqr} \right) + v_{ilq} \quad (4.56)$$

$$\text{Parte MI del modello} \quad y_{ipq} = \left(\sum_l y_{ilp} \cdot \eta_{ilq} \right) + \zeta_{ipq} \quad (4.57)$$

Dove:

- l indica la variabile latente
- i si riferisce ad un'alternativa
- q rappresenta l'individuo
- r si riferisce la generica variabile esplicative
- p si riferisce al generico indicatore misurabile
- α e γ sono i parametri da stimare
- v e ζ sono i termini di errore che sono assunti con media pari a zero e deviazione standard da stimare.

Il valore atteso delle variabili latenti rappresenta ora una variabile nota e può entrare a far parte del set di variabili esplicative del modello di scelta.

- la seconda fase del processo di stima sequenziale consiste nello stimare il Modello di Scelta Discreta, includendo però nel set delle variabili esplicative anche il valore atteso delle variabili latenti stimate nella prima fase.

Il processo di stima sequenziale ha il vantaggio di essere semplice e non presentare difficoltà aggiuntive rispetto a quelle di un modello tradizionale. Per questo è stato il metodo più utilizzato almeno all'inizio del secolo (Ashok et al., 2002). Tuttavia, ha lo svantaggio di non utilizzare tutte le informazioni disponibili contemporaneamente. Inoltre, un problema di questo approccio potenzialmente molto più grave è che non garantisce stime corrette dei parametri coinvolti (Bollen, 2005). Infatti, le deviazioni standard dei parametri tendono ad essere sottostimate, dando luogo ad attributi la cui significatività statistica è superiore rispetto al loro contributo reale nel modello. Questo problema può essere però risolto mediante una correzione statistica delle varianze dei parametri (Murphy e Topel, 1985), ma questo non è un

processo semplice da eseguire. Se la varianza degli errori della variabile latente è piccola, allora aumentando la dimensione del campione si può ridurre sufficientemente l'errore di misurazione e determinare stime accettabili del parametro. Aumentare la dimensione del campione consente una stima più precisa del valore atteso della variabile latente, e una varianza ridotta significa che il vero valore della variabile latente di un individuo non è troppo lontano dal valore atteso. La dimensione necessaria del campione è fortemente dipendente dalla specificazione del modello e richiede che la varianza dell'errore della variabile latente sia sufficientemente piccola. In altre parole, la misura degli errori delle variabili latenti non sparisce come la dimensione del campione diventa di grandi dimensioni. Pertanto, senza l'esecuzione di test sul grado di incoerenza, quella descritta è una pratica discutibile (Sottile, 2014).

Inoltre, un aspetto importante della procedura sequenziale è che non garantisce stime perfettamente coerenti, poiché i valori attesi ottenuti per gli LV hanno un errore di misurazione quando vengono introdotti come attributi nel DCM.

STIMA SIMULTANEA

La stima simultanea consiste nello stimare le variabili latenti e la scelta discreta simultaneamente. Il metodo usato è sempre quello della massima verosimiglianza in cui le probabilità individuali che entrano nella funzione di verosimiglianza sono quelle riportate nella equazione (4.49). Quando la stima è simultanea la funzione d'utilità non include il valore atteso della variabile latente ma direttamente la variabile latente, pertanto i parametri che si ottengono rappresentano stime efficienti di tutti i parametri e non occorre aggiustare la varianza a posteriori. La stima simultanea rappresenta un netto miglioramento rispetto ai metodi sequenziali (Everitt, 1984; Bollen, 2005; Bolduc et al., 2008; Raveau et al., 2010), ma è estremamente più complessa e richiede procedure specifiche che sono state messe a punto solo recentemente.

4.3.3 Modelli avanzati

Come già evidenziato nei capitoli precedenti, l'intero processo decisionale è influenzato non solo da grandezze misurabili e dalle preferenze degli utenti, ma anche da variabili non misurabili, il cui ruolo è stato studiato dalla letteratura esistente:

- attraverso il paradigma della teoria dell'utilità aleatoria, specificando modelli di scelta ibridi con variabili latenti;
- o attraverso l'implementazione di modelli di equazioni strutturali (SEM) applicati a paradigmi interpretativi di natura psicologica (ad esempio, Teoria dell'azione ragionata, Teoria del comportamento pianificato, Modello transteorico, Modello di accettazione della tecnologia, Teoria unificata dell'accettazione e dell'uso della tecnologia).

Sebbene il paradigma economico e soprattutto i modelli di scelta da esso derivanti possano risultare parzialmente limitanti per la descrizione di scelte complesse, essi consentono di stimare le probabilità di scelta e di fornire un'interpretazione dei fenomeni quantomeno parziale. Contestualmente, anche nel settore trasporti, il ricorso (tramite SEM) a paradigmi interpretativi di natura psicologica, si è rilevato efficace nel definire costrutti latenti e tratti personali degli utenti che potessero influenzarne le scelte, relative a diversi contesti. Di conseguenza, il ricorso a questi paradigmi risulta limitante nella stima delle aliquote di scelta, (non ottenibile tramite approccio SEM) ma particolarmente utile in termini interpretativi.

Emerge quindi l'idea che i punti di debolezza discendenti dall'applicazione di un paradigma interpretativo economico (parziale interpretazione) possano essere compensati dai punti di forza dell'approccio psicologico (maggiore interpretazione) e, viceversa, che le debolezze riscontrate in fase di applicazione del paradigma interpretativo psicologico (impossibilità di stimare le aliquote di scelta tramite SEM) possano essere compensate ricorrendo alla formulazione dei modelli di scelta.

La principale difficoltà collegata alla suddetta idea risiede nel fatto che, nella maggior parte delle teorie derivanti dall'approccio psicologico vengono considerate sia relazioni dirette che indirette tra i costrutti.

La presenza di queste relazioni indirette ha un'implicazione facilmente intuibile se volessimo pensare banalmente di introdurre ciascun fattore latente (o tratto personale) nella funzione di scelta degli utenti: un determinato fattore latente potrebbe non influenzare direttamente la scelta comportamentale dell'utente, ma piuttosto potrebbe avere effetto su una variabile di mediazione che a sua volta influenza la scelta comportamentale finale.

Da qui nasce l'ipotesi di sviluppo di modelli ibridi gerarchizzati. La specificazione di questi ultimi deve avvenire ancora facendo riferimento a due tipologie di set di equazioni: equazioni di misurazione ed equazioni strutturali. In tal caso, tuttavia, variabili latenti di ordine gerarchico superiori contribuiranno alla specificazione di variabili latenti di ordine inferiore, direttamente integrate nella funzione di utilità. Quanto appena detto si esplicita, fermo restando l'interpretazione dei simboli proposti per i modelli ibridi nelle relazioni 4.41 e 4.42, nelle seguenti equazioni strutturali:

$$Z_i^1 = \left(\bar{Z}_i^1 + \sum_{m=1}^M \lambda_m^1 x_m \right) + \omega_i^1 \quad (4.58)$$

$$Z_i^2 = \left(\bar{Z}_i^2 + \sum_{m=1}^M \lambda_m^2 x_m + \sum_{n=1}^N \psi_n \cdot Z_n^1 \right) + \omega_i^2 \quad (4.59)$$

$$U_j = \left[\left(\sum_s \beta_s \cdot x_s + \beta_{ASA} \cdot ASA \right) + \sum_{L_j} \beta_{Z_j} \cdot Z_j^2 \right] + \varepsilon \quad (4.60)$$

in cui Z_i^1 è la variabile latente di ordine superiore, che assieme alle variabili esplicative concorre alla definizione di variabili latenti di ordine inferiore, Z_i^2 .

Le equazioni di misurazione, invece, non presentano variazioni formali rispetto a quanto proposto per i classici modelli ibridi.

Allo stato attuale non sono presenti in letteratura studi che contemplino formalmente questi modelli ibridi gerarchici; vi è però un recente studio (Kim e Rasouli, 2022) in cui viene presentata una formalizzazione (in linea con quanto qui proposto) per la specificazione di un modello gerarchico a variabili e a classi latenti.

5 ANALISI E MODELLAZIONE DI COMPORTAMENTI DI SCELTA MEDIANTE PARADIGMI COMPLEMENTARI ALLA TEORIA DELL'UTILITÀ ALEATORIA

5.1 SINTESI

Nell'attuale contesto è ormai riconosciuta la necessità di perseguire congiuntamente, ed in diversi settori, una transizione ecologica e digitale; entrambe sono tuttavia perseguibili solo se si osserva una transizione comportamentale delle persone coinvolte.

In quest'ottica il presente progetto di ricerca focalizza su studio, interpretazione e modellazione dei comportamenti di scelte di mobilità degli utenti del settore trasporti, in contesti di scelta non tradizionali e, in generale, non facilmente interpretabili nell'ambito di un paradigma "utilitaristico".

Due sono gli obiettivi da perseguire, rispettivamente di interesse metodologico ed operativo:

- 1) Individuare e formalizzare matematicamente approcci metodologici innovativi adeguati a studiare i suddetti contesti di scelta;
- 2) Investigare l'efficacia degli approcci metodologici innovativi su casi studio reali (es. penetrazione di mercato di veicoli elettrici).

Ad oggi, se lo scenario tecnologico nel settore dei trasporti è complesso e parzialmente consolidato, lo stesso non si può dire per lo studio degli impatti sulle scelte di viaggio/mobilità degli utenti, che richiede strumenti innovativi e coerenti con il rapido sviluppo sociale e culturale che la società sta osservando.

Finora, le scelte degli utenti sono state studiate perseguendo un approccio economico, assumendo, in accordo alla teoria dell'utilità aleatoria, che gli utenti siano perfettamente razionali, che associno a ciascuna alternativa di scelta un'utilità e che scelgano l'alternativa a cui attribuiscono la massima utilità. I modelli consolidati e basati sulla teoria dell'utilità aleatoria hanno permesso di interpretare e modellare le scelte degli utenti con un certo grado di affidabilità, ricorrendo a variabili strumentali direttamente osservabili e misurabili. Inoltre, lo sviluppo relativamente recente di modelli di scelta ibridi con variabili latenti ha permesso una migliore interpretazione dei fenomeni, introducendo la possibilità di considerare variabili non direttamente misurabili (attitudini e percezioni), pur utilizzando ancora un approccio utilitaristico.

Tuttavia, i processi decisionali sottesi alle scelte sono influenzati da molteplici determinanti, di cui si può tenere conto soltanto con un approccio psicologico. Quest'ultimo assume che il processo decisionale sia locale, adattivo, dipendente dal contesto di scelta e dai tratti personali degli utenti; In quest'ottica, nuovi paradigmi cognitivi che consentano di tener conto di maggiori determinanti delle scelte degli utenti andrebbero esplorati, congiuntamente agli approcci tradizionali.

Inoltre, rispetto alle attuali scelte di mobilità, che spesso richiedono una vera e propria transizione comportamentale (es. passaggio da auto privata a scelte di mobilità più sostenibili, passaggio da veicoli a combustione interna a veicoli elettrici o ibridi), si ritiene importante non solo esaminare la scelta degli utenti nel momento in cui viene effettuata, ma anche indagare il processo cognitivo che gli utenti attraversano prima di arrivare a una determinata scelta. Da questo aspetto deriva l'intenzione di esplorare le scelte degli utenti concentrandosi non solo su un'analisi puntuale, ma piuttosto su un processo evolutivo. Per i suddetti motivi, il presente lavoro di ricerca investiga un nuovo approccio metodologico che prevede l'applicazione congiunta di due paradigmi psicologici, ovvero la Teoria del comportamento pianificato (Theory of Planned Behavior, TPB) e il modello transteorico (Transtheoretical model, TTM) al fine di verificare se lo stadio del cambiamento possa influenzare direttamente l'intenzione comportamentale degli utenti.

Tale approccio metodologico viene testato ed applicato su un contesto di scelta che ben si presta ad essere inteso come risultato di un processo evolutivo piuttosto lungo, ovvero l'acquisto di un veicolo ad alimentazione alternativa (ibrido plug-in o elettrico) rispetto alle soluzioni proposte tradizionalmente nel contesto italiano (Benzina, Diesel, GPL e Metano).

Come riportato anche in Langbroek, (2018), il passaggio da un veicolo con motore a combustione interna a un veicolo elettrico comporta un cambiamento comportamentale. I veicoli elettrici (BEVs, dall'inglese Battery Electric Vehicles) devono essere caricati e anche i veicoli ibridi plug-in (PHEVs, dall'inglese Plug-In Hybrid Electric Vehicles) dovrebbero essere caricati per far fruttare al meglio i loro vantaggi. La

ricarica completa di un veicolo elettrico richiede molto più tempo rispetto al rifornimento di un'auto convenzionale e le limitazioni di autonomia potrebbero rendere i veicoli elettrici meno adatti a tutti gli spostamenti che attualmente vengono effettuati con le auto convenzionali.

La questione della gravità dei cambiamenti nel livello di mobilità di una persona non è banale.

Pertanto, il presente lavoro si concentra sull'analizzare la volontà di acquistare un'auto a carburante alternativo, esaminando

- (i) L'applicabilità congiunta di più di un paradigma interpretativo
- (ii) I costrutti che influenzano l'intenzione di acquistare un'auto ad alimentazione alternativa
- (iii) L'impiego dei modelli ad equazioni strutturali per lo studio del nuovo framework proposto; in particolare, avendo definito a priori (seguendo le regole di buona pratica proposte in letteratura e discusse al capitolo 4) quale approccio SEM potesse essere più adatto per lo studio della metodologia proposta, si è scelto di investigare anche l'applicabilità dell'approccio ritenuto meno adatto, al fine di individuare eventuali limitazioni nell'impiego di un criterio rispetto all'altro e le principali differenze in termini di risultati.
- (iv) L'impiego di modelli di scelta discreta consolidati, al fine ultimo di poter individuare quale potesse essere il miglior insieme di scelta da prendere in considerazione ed in maniera tale da avere dei modelli di benchmark rispetto ai quali confrontare i risultati derivanti da approcci più avanzati
- (v) L'impiego di modelli di scelta ibridi, al fine di esaminare quali fattori latenti potessero influenzare le scelte di acquisto degli utenti, la loro entità, e il miglioramento in termini interpretativi e simulativi eventualmente apportati considerando tali fattori.
- (vi) L'impiego di modelli avanzati, che pur basandosi su un approccio di stima utilitaristico (massimizzazione della funzione di utilità) vengano costruiti a partire dal nuovo framework metodologico proposto ed investigato.

Chiaramente queste operazioni hanno richiesto la costruzione di un'indagine ad hoc che potesse fornire i dati necessari ad esaminare tutti i suddetti aspetti. L'indagine è stata condotta in più fasi ed è stata rivolta ad un campione pilota rappresentata da studenti della facoltà di ingegneria dell'università di Salerno e/o da giovani lavoratori. La scelta, per quanto possa sembrare limitante (riduzione ad una classe ben specifica di utenti) nasce dalla volontà di esaminare l'argomento investigato in un contesto che, pur non essendo direttamente reale (data l'impossibilità di effettuare un'indagine sulle preferenze rilevate), potesse essere il più prossimo alla realtà (proponendo diversi scenari di scelta, secondo l'approccio delle preferenze dichiarate, a possibili futuri acquirenti di un'automobile).

Il prosieguo del suddetto capitolo relativo al progetto di ricerca condotto in questi anni è quindi strutturato come segue. Al paragrafo 5.2 viene illustrato il contesto sperimentale investigato, esaminando in particolare come i veicoli ad alimentazione alternativa si pongono nel contesto italiano, l'idea di ricerca applicata a tale contesto e l'indagine ad hoc condotta per poter estrapolare i dati necessari allo studio. Il paragrafo 5.3 discute la fase preliminare di analisi dei dati, concentrandosi sulle operazioni di pulizia della base dati, analisi descrittive, e test statistici condotti per conoscere il campione e comprendere la migliore trattabilità dei dati a disposizione. Il paragrafo 5.4 discute la trattazione del nuovo framework metodologico proposto tramite l'applicazione dei modelli ad equazioni strutturali, sia con approccio ai minimi quadrati parziali (PLS) che con approccio basato sulle covarianze (CB). Nel paragrafo 5.5 vengono mostrati e discussi i modelli di scelta discreta consolidati calibrati, ed i modelli ibridi a variabili latenti derivanti da trattazione classica proposta in letteratura.

Infine il paragrafo 5.6 è dedicato all'implementazione di modelli ibridi che esplorano il ruolo dei costrutti postulati in teorie discendenti da un paradigma psicologico nella definizione della funzione di utilità associata a veicoli ad alimentazione alternativa.

Le discussioni e le principali conclusioni derivanti da questo lavoro di ricerca vengono invece riportate nei capitoli 6 e 7.

5.2 CONTESTO SPERIMENTALE

L'elevato livello di inquinamento nei centri urbani, causato dal traffico in costante aumento, rende prioritario il passaggio a modalità di spostamento più sostenibili, e laddove non si possa prescindere dal trasporto privato, la sostituzione dell'attuale parco auto con veicoli a ridotto impatto ambientale. Invero, gli standard di riduzione delle emissioni stabiliti dalla Commissione Europea hanno spinto i produttori di automobili a considerare le tecnologie a basse emissioni di carbonio come un buon investimento a lungo termine, e di conseguenza sia i veicoli elettrici a batteria (BEV) che i veicoli ibridi plug-in (PHEV) risultano un'alternativa alle soluzioni convenzionali.

Nel 2020, la flotta globale di auto elettriche ha superato i 10 milioni, con un aumento del 43% rispetto al 2019. La Cina, con 4,5 milioni di auto elettriche, ha la flotta più grande, anche se nel 2020 l'Europa ha registrato il maggiore incremento annuale. La quota europea di questa flotta globale è stata di 1,4 milioni. La Norvegia è rimasta leader in termini di quota di mercato delle auto elettriche con il 75%, ma le quote di vendita delle auto elettriche hanno superato il 50% in Islanda, il 30% in Svezia e hanno raggiunto il 25% nei Paesi Bassi.

Nonostante il considerevole aumento del numero di veicoli elettrificati immatricolati negli ultimi dieci anni, le vendite sono ancora inferiori a quelle dei veicoli convenzionali, poiché i vantaggi di queste nuove tecnologie (minori costi di manutenzione, sconti sulle ricariche, risparmi fiscali sull'acquisto dei veicoli, incentivi non finanziari come parcheggi e corsie dedicate, riduzione dell'impatto ambientale e dell'inquinamento acustico) non superano gli svantaggi più diffusamente percepiti dagli utenti. Fondamentalmente, ci sono ancora quattro barriere principali (Graham-Rowe et al., 2012; Lim et al., 2014; Zhang et al., 2016; Jabbari et al., 2017; He et al., 2018; Adhikari et al., 2020; Kongklaew et al., 2021) che devono essere superate per consentire un'inversione di tendenza nelle vendite: (i) la mancanza di infrastrutture (stazioni di ricarica elettrica), (ii) le prestazioni delle batterie, che al momento consentono un'autonomia di circa 150 km - 250 km (anche se alcune auto più performanti possono ipoteticamente percorrere 300 km con una carica), (iii) un costo di acquisto ancora troppo elevato, anche se mitigato dalle politiche perseguite da vari Paesi che stanno cercando, con vari incentivi, di rendere i veicoli elettrici più accessibili e di favorirli rispetto a quelli tradizionali, (iv) e infine i tempi di ricarica, che con i miglioramenti tecnologici previsti dovrebbero diminuire rapidamente entro i prossimi 10 anni.

Per questi motivi, nonostante la rapida crescita delle vendite di auto elettriche nell'ultimo decennio, la penetrazione delle auto elettriche è ancora limitata a meno dell'1% del parco auto globale.

Nel contesto italiano, secondo la Sintesi Statistica dell'UNRAE, il numero di autovetture immatricolate in Italia nel 2020 era di 1.381.662, di cui solo 32.493 erano auto elettriche. Il mercato italiano, considerando i dati 2021, è ancora indietro rispetto ai principali partner europei, mentre, mantiene la prima posizione in termini di penetrazione di auto ibride non plug-in (HEV), grazie agli incentivi e all'indipendenza dalle infrastrutture di ricarica.

Sebbene le evidenze sui principali pro e contro dei veicoli elettrificati (EVs) siano ben note, è importante capire quali caratteristiche di queste soluzioni possano influenzarne maggiormente la penetrazione di mercato e quali caratteristiche degli utenti possano aumentare la propensione verso di esse. Da qui l'importanza di indagare le scelte di mobilità degli utenti, in relazione alla penetrazione di mercato di questi veicoli, sfruttando strumenti innovativi e coerenti con il rapido sviluppo sociale e culturale che la società sta osservando.

La scelta di utilizzare o acquistare veicoli elettrici, ibridi o ibridi plug-in, rappresenta (ed ha rappresentato, sin dalla comparsa sul mercato) una tematica di grande interesse nel settore trasporti.

Molti studi sulla potenziale domanda di veicoli elettrici sono stati condotti in tutto il mondo, soprattutto negli Stati Uniti (Bunch et al., 1993; Segal, 1995; Brownstone e Train, 1998; Brownstone, Bunch e Train, 2000; Hidrue et al., 2011; Hess et al., 2012; Cirillo, Liu e Maness, 2017), Canada (Ewing e Sarigöllü, 2000; Potoglou e Kanaroglou, 2007; Mau et al., 2008; Mohamed et al., 2016), Cina (Qian e Soopramanien, 2011; Qian et al., 2019; Li et al., 2020), Danimarca (Jensen, Cherchi e Mabit, 2013), Germania (Achtnicht, Bühler e Hermeling, 2012; Ziegler, 2012; Hackbarth e Madlener, 2013; Degirmenci e Breitner, 2017; Schmalfuß, Mühl e Krems, 2017), Italia (Valeri e Danielis, 2015; Danielis et al., 2020, De Luca et al., 2020), Giappone (Ito, Takeuchi e Managi, 2013), Paesi Bassi (Kim, Rasouli e Timmermans, 2014),

Norvegia (Dagsvik et al., 2002), Spagna (Junquera, Moreno e Álvarez, 2016), Corea del Sud (Ahn, Jeong e Kim, 2008; Byun et al., 2018), Svizzera (Glerum et al., 2014) e Regno Unito (Brand, Cluzel e Anable, 2017), solo per citarne alcuni.

La maggior parte degli studi si concentra sull'implementazione di modelli convenzionali, in particolare di logit multinomiali (Junquera, Moreno e Álvarez, 2016; Krause et al., 2016; Brand, Cluzel e Anable, 2017; Cirillo, Liu e Maness, 2017) o mixed logit (Tanaka et al., 2014; Helveston et al., 2015; Valeri e Danielis, 2015; Rudolph, 2016; Cirillo, Liu e Maness, 2017; Byun et al., 2018; Qian et al., 2019; Guerra e Daziano, 2020; Bera e Maitra, 2021), per studiare la propensione ad utilizzare o acquistare queste soluzioni di mercato.

L'influenza degli atteggiamenti degli utenti, così come del prezzo e dell'autonomia, è stata ampiamente dimostrata nel campo delle intenzioni di acquisto dei consumatori di veicoli elettrici. Diversi studi hanno quindi impiegato modelli ibridi con variabili latenti per esaminare la scelta di veicoli a combustibile alternativo, analizzando spesso l'influenza dell'attitudine verso l'ambiente (Daziano e Bolduc, 2013; Hess, Shires e Jopson, 2013; Jensen, Cherchi e Mabit, 2013; Soto, 2014; Tsouros e Polydoropoulou, 2020), l'attitudine verso le caratteristiche del veicolo (ad es, design, spaziosità, tecnologia, ecc.), la possibilità di leasing del veicolo (Glerum et al., 2014; Mabit et al., 2015), le influenze sociali ed altri atteggiamenti latenti (Kim, Rasouli e Timmermans, 2014; Tsouros e Polydoropoulou, 2020; Danielis et al., 2020; Jang e Choi, 2021; Bansal et al., 2021).

Nei campi della sociologia e della socio-psicologia sono state sviluppate numerose teorie e modelli per comprendere meglio i cambiamenti comportamentali. Una delle teorie del cambiamento comportamentale più frequentemente utilizzate è la Teoria del comportamento pianificato (Ajzen, 1991). Il punto di forza di una teoria come la TPB è che tiene conto della motivazione, delle capacità e delle influenze sociali. Diverse sono state le applicazioni di tale teoria anche per comprendere l'influenza dei determinanti dell'intenzione di acquisto o di utilizzo di veicoli elettrici o ibridi. Per esempio, Haustein e Jensen (2018) hanno fatto ricorso ad una versione estesa della Teoria del comportamento pianificato per confrontare gli utenti di automobili convenzionali ed elettriche, Shalender e Sharma (2021) hanno fatto ricorso alla TPB per studiare l'intenzione di adottare veicoli elettrici in India, Murtiningrum et al., 2022 si sono concentrati nel contesto indonesiano, Wang et al., 2022, hanno esteso la TPB con nuovi costrutti e si sono concentrati nell'esaminare il ruolo svolto dal livello di educazione come variabile di moderazione nel definire l'intenzione di acquisto di nuovi veicoli con alimentazioni non tradizionali.

I suddetti studi sono in genere basati su dati derivanti da indagini sulle preferenze dichiarate (SP, dall'inglese Stated Preferences) e raramente da indagini sulle preferenze rilevate (RP, dall'inglese Revealed Preferences)

Un punto debole della TPB è che si tratta comunque di una teoria statica. Non tiene conto del fatto che i cambiamenti comportamentali avvengono nel tempo e che le intenzioni comportamentali possono formarsi nel tempo.

In studi precedenti sono stati investigati diversi fattori che influenzano l'adozione dei veicoli elettrici. Tuttavia, poiché l'adozione dei veicoli elettrici comporta importanti cambiamenti comportamentali, soprattutto quando si adotta un BEV, si presume che l'adozione dei veicoli elettrici sia un processo piuttosto che un evento.

Muovendosi in tale direzione il quadro metodologico proposto nel presente progetto di ricerca integra i determinanti della teoria del comportamento pianificato con il processo evolutivo a stadi proposto dal modello transteorico. In linea con quanto detto sopra, si ipotizza che la scelta di acquistare un veicolo sia direttamente influenzata dall'intenzione comportamentale, che a sua volta dipende dall'atteggiamento verso i veicoli elettrici, dalle norme soggettive, dal controllo comportamentale percepito e dallo stadio del cambiamento. Si presume inoltre che la fase di cambiamento sia a sua volta influenzata dalle attitudini e dalle percezioni naturali dell'utente, come l'attitudine verso l'ambiente e la tecnologia, la percezione del consumo e le norme sociali. Maggiori dettagli relativi ai costrutti investigati verranno forniti nel paragrafo 5.4. In maniera semplificata il quadro metodologico innovativo proposto da tale lavoro può essere schematizzato nell'immagine che segue.

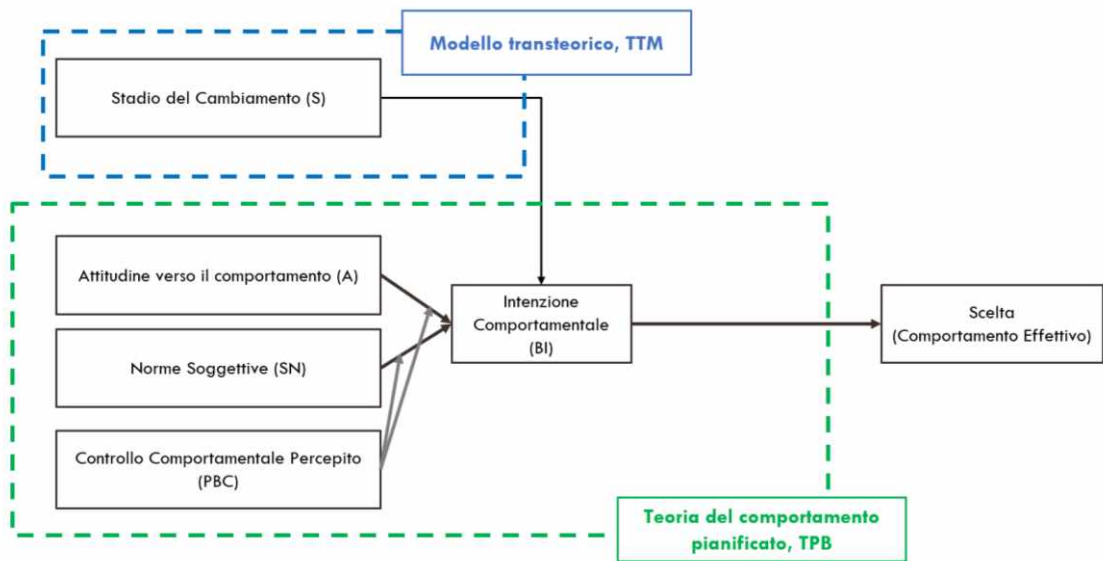


Figura 31- Quadro concettuale: integrazione di TPB e TTM

Tutte le elaborazioni del seguente progetto di ricerca sono basate sui dati raccolti tramite un'indagine rivolta a valutare la tipologia di alimentazione dell'automobile che gli intervistati sarebbero disposti ad utilizzare e ad acquistare in diversi contesti di scelta.

Per questo studio, l'indagine è stata sviluppata ad hoc in più fasi, al fine di cogliere un'eventuale evoluzione del comportamento degli utenti nei confronti dell'argomento indagato e cercando di condurre un parallelismo con i diversi stadi del cambiamento postulati dal modello transteorico. Tra una fase e l'altra dell'indagine, sono stati pianificati aggiornamenti informativi, finalizzati ad aumentare le conoscenze degli utenti (aspetto che come richiamato nel capitolo 3 è ritenuto fondamentale per il passaggio da uno stadio del cambiamento all'altro). Questi ultimi sono stati realizzati con diversi livelli di dettaglio tra una fase e l'altra.

Per fornire ai rispondenti le informazioni ritenute necessarie, è stato creato un gruppo broadcast su WhatsApp al quale i rispondenti che desideravano proseguire con le diverse fasi dell'indagine potevano accedere tramite un link di invito.

Le informazioni ricavate da ciascuna fase dell'indagine risultano coerenti con quanto investigato negli studi di letteratura citati, pur adattandosi alle necessità del lavoro proposto.

L'indagine ha chiaramente un carattere preliminare e pertanto è stata sottoposta a un campione pilota. Data la continuità richiesta dalla tipologia di indagine, si è reso necessario individuare un campione che consentisse di raccogliere i dati in maniera continuativa. Per tale motivo l'indagine è stata proposta, sotto forma di intervista diretta, ad un gruppo di 250 intervistati, con età compresa tra i 20 ed i 30 anni, e ripartiti tra gli studenti del corso di Pianificazione dei Trasporti (indirizzato agli iscritti ai CdI in Ingegneria Civile, Ingegneria Civile per l'Ambiente e il Territorio, Ingegneria Gestionale) e/o giovani lavoratori, ed è stata sottomessa tra Novembre 2019 e Febbraio 2020.

A valle di un'opportuna pulizia del campione, gli intervistati che hanno portato a termine tutte le fasi dell'indagine sono risultati in un numero complessivo pari a 199. Tuttavia, va anche sottolineato che un'ulteriore pulizia è stata effettuata in fase di studio del processo evolutivo; in tal caso, l'andamento piuttosto incoerente di alcuni intervistati ne ha comportato l'eliminazione dalla base dati. Di conseguenza, è bene sottolineare fin da principio (ma l'aspetto verrà richiamato di volta in volta) che per le analisi che contemplano l'esame del processo evolutivo si farà riferimento ad un campione di 181 utenti, mentre qualora le scelte analizzate non tengano conto di questo aspetto si farà riferimento ad un campione di 199 intervistati. Si ritiene utile sottolineare questo aspetto in quanto, come vedremo, un fattore latente risulta

affidabile se valutato con riferimento ad un campione e non affidabile per un altro campione, con conseguente possibilità di far riferimento a variabili latenti di natura diversa¹¹.

Complessivamente, l'indagine progettata si compone di 5 fasi, ma, per evitare confusione, le fasi 4¹² e 5¹³ non vengono descritte, in quanto i relativi dati non sono stati poi utilizzati per il presente lavoro di ricerca. Di seguito vengono forniti maggiori dettagli sulla struttura delle prime tre fasi dell'indagine.

Prima di entrare nel dettaglio delle singole fasi, è opportuno sottolineare che i dati raccolti sono stati utilizzati nello studio proposto per tre diversi scopi:

- I dati della prima fase vengono utilizzati per definire lo stadio di cambiamento in cui si trova l'utente.
- I dati della seconda fase sono utilizzati per convalidare il campione e verificare eventuali cambiamenti nello stadio di cambiamento.
- I dati raccolti nella terza fase sono utilizzati per riprodurre le scelte di acquisto degli utenti.

Nelle tre fasi di indagine da cui si estrapolano i dati su cui si fondano tutte le analisi effettuate per il presente studio di ricerca, oltre a specifiche domande dettagliate di seguito, viene chiesto agli intervistati di effettuare una scelta. Nello specifico, nelle 3 fasi abbiamo:

- I. Prima scelta dell'alimentazione dell'auto da utilizzare in contesto urbano ed extraurbano¹⁴;
- II. Seconda scelta dell'alimentazione dell'auto da utilizzare in contesto urbano ed extraurbano;
- III. Scelta dell'alimentazione dell'auto da acquistare in 8 diversi contesti di scelta.

Per quanto riguarda i momenti informativi, gli stessi sono stati effettuati, con diversi livelli di dettaglio, tra le fasi I e II e tra le fasi II e III. Di seguito si riportano quindi descrizioni più dettagliate anche di questi momenti, collocandoli nella sezione delle fasi di indagine che gli stessi precedono.

5.2.1 I FASE - SCELTA DI UTILIZZO IN CONTESTO URBANO ED EXTRAURBANO

Nella prima fase dell'indagine sono state progettate 5 diverse sezioni, di cui 4 finalizzate a raccogliere informazioni sugli intervistati e sulle loro preferenze e una (la quarta) relativa al contesto di scelta:

- (i) Panoramica socio-economica e abitudini di viaggio degli utenti;
- (ii) Esplorazione di quattro tratti psicologici: percezione del consumo, attitudine verso l'ambiente, attitudine verso la tecnologia e norme sociali;
- (iii) Conoscenza delle auto ad alimentazione alternativa rispetto a quelle convenzionali (benzina e diesel);
- (iv) Scelta dell'alimentazione del veicolo per gli spostamenti in ambito urbano ed extraurbano;
- (v) Giudizio sui fattori che vengono presi in considerazione in fase di acquisto di un'automobile.

¹¹ Questo aspetto potrebbe turbare il lettore circa la possibilità di estendere lo studio a campioni diversi da quelli investigati; come però si vedrà, questo aspetto non ha influenza sui risultati finali dei modelli di scelta (ovvero una variabile latente risultata affidabile per essere inserita nei modelli di scelta che non tengono conto del processo evolutivo -199 intervistati-, non ha poi giocato un ruolo significativo nella definizione delle scelte degli utenti).

¹² Nella fase quattro viene investigata una scelta tra diversi veicoli elettrici; tale fase doveva essere rappresentativa dello stadio di azione considerato nel modello transteorico, tuttavia, lo studio di tale aspetto non si è poi ritenuto fondamentale ai fini di ricerca, mentre si è preferito dare più enfasi a diversi approcci modellistici.

¹³ La fase 5 è identica alla fase tre dell'indagine ma viene considerato un contesto di scelta con un numero di alternative inferiore (ovvero senza le alternative GPL e Metano); questo aspetto viene preso in considerazione in prospettiva di avanzamenti futuri, per poter eventualmente estendere i risultati ottenibili in contesti di scelta in cui queste due alternative sono meno preponderanti rispetto al mercato italiano.

¹⁴ Nonostante siano state investigate le preferenze di utilizzo sia in ambito urbano che extraurbano (al fine di esaminare eventuali variazioni in termini puramente descrittivi) le successive applicazioni fanno sempre riferimento al contesto urbano.

La **prima sezione** può essere ulteriormente dettagliata in tre sottosezioni. Una prima parte si concentra sul background socio-economico degli intervistati, tra cui sesso, età, luogo di residenza, stato occupazionale, numero di componenti del nucleo familiare (con dettagli sul numero di patentati e di maggiorenni), possesso della patente di guida, numero di auto e moto nel nucleo familiare, contributo decisionale all'acquisto di un'auto. Una seconda parte si concentra sulla raccolta di informazioni relative alle autovetture possedute dal nucleo familiare dell'intervistato. Questa sotto-sezione non è rivolta agli utenti che hanno dichiarato un numero di autovetture possedute in famiglia pari a 0. In particolare, in questa sotto-sezione viene chiesto agli intervistati di fornire informazioni sul tipo di alimentazione delle autovetture possedute e sul parcheggio abituale dell'auto principale.

Infine, l'ultima parte di questa prima sezione mira a indagare alcune caratteristiche degli spostamenti (agli utenti viene chiesto come si spostano per il motivo casa-studio o casa-lavoro, come si spostano per gli spostamenti casa-tempo libero e quanti chilometri percorrono in media ogni giorno in auto).

Le domande di questa prima sezione sono raccolte nella Figura 32.


 Università di Salerno - Laboratorio di analisi di sistemi di trasporto Indagine sui potenziali fattori che possono influenzare gli utenti nella scelta dell'alimentazione di un'automobile					
Genere	M	F			
Età					
Zona di residenza	Centro storico		A ridosso della zona centrale	Periferia	
Occupazione (anche più di una)	Studente	Occupato	Non occupato	In cerca di occupazione	
Numero di componenti del nucleo familiare					
	di cui patentati				
	di cui maggiorenni				
Patente di guida B (Auto)	Si	No			
Numero di autoveicoli presenti in famiglia					
Numero di moto e motocicli presenti in famiglia					
Hai poteri decisionali in merito all'acquisto/vendita dell'automobile?	Si	No			
Parcheggio abituale dell'auto principale posseduta	Parco residenziale		Box indipendente		
	Garage a pagamento		Strada		
Si indichi il tipo di alimentazione delle auto possedute in famiglia (è possibile barrare più alternative)	Benzina	Diesel			
	GPL	Metano			
	Ibrida	Elettrica			
Come raggiungi l'università/posto di lavoro?	Auto	Carpool	Bus	Piedi	
Come ti sposti nel fine settimana e/o per motivi casa-svago?	Auto	Carpool	Bus	Piedi	
Quanti km percorri al giorno mediamente in auto?	0 km (generalmente non mi sposto in auto)			fino a 10 km	
	tra 10 e 30 km		tra 30 e 50 km		più di 50 km

Figura 32- Questionario I fase, sezione (i) – Quadro socio-economico e delle caratteristiche degli spostamenti degli intervistati

La **seconda sezione** di questa fase prevede una carrellata di affermazioni rispetto alle quali l'intervistato è chiamato ad esprimere il suo grado di accordo/disaccordo, considerando una scala di giudizio a 5 livelli:

- Per nulla d'accordo
- Poco d'accordo
- Abbastanza d'accordo
- Molto d'accordo
- Fortemente d'accordo

Queste affermazioni consentono, a gruppi, di investigare quattro diversi tratti/fattori psicoattitudinali dell'utente:

- 1) Percezione dei consumi
- 2) Attitudine verso l'ambiente
- 3) Attitudine verso la tecnologia

- 4) Norme Sociali, sezione nella quale si valuta quanto l'intervistato possa essere influenzato dal contesto esterno.

Alle affermazioni relative a queste quattro dimensioni sono state affiancate 5 affermazioni, sufficientemente particolari, al fine ultimo di verificare il grado di attenzione con le quali venivano fornite le risposte al questionario.

Tutti questi items sono stati sottomessi agli intervistati con ordine casuale, in modo tale da evitare possibili collegamenti con la dimensione investigata.

L'insieme delle affermazioni proposte è raccolto nella Tabella 87 dell'Appendice B.

Nella **terza sezione** di questa fase, agli utenti viene chiesto quale sia il loro grado di conoscenza relativamente alle alimentazioni metano, GPL, ibrida ed elettrica. Il grado di conoscenza atteso è valutato su tre livelli: conoscenza perfetta, conoscenza parziale delle caratteristiche tecniche di questi veicoli, nessuna conoscenza, come mostrato nella figura che segue.

Conosci le auto a metano ?	
Si, sono un perfetto conoscitore di tutte le caratteristiche tecniche	
Si, ma non conosco tutte le caratteristiche tecniche	
No, non ne ho mai sentito parlare	
Conosci le auto a GPL ?	
Si, sono un perfetto conoscitore di tutte le caratteristiche tecniche	
Si, ma non conosco tutte le caratteristiche tecniche	
No, non ne ho mai sentito parlare	
Conosci le auto ibride ?	
Si, sono un perfetto conoscitore di tutte le caratteristiche tecniche	
Si, ma non conosco tutte le caratteristiche tecniche	
No, non ne ho mai sentito parlare	
Conosci le auto elettriche ?	
Si, sono un perfetto conoscitore di tutte le caratteristiche tecniche	
Si, ma non conosco tutte le caratteristiche tecniche	
No, non ne ho mai sentito parlare	

Figura 33- Questionario I fase, sezione (iii) – conoscenza delle alimentazioni alternative a quelle convenzionali

Nella **quarta sezione** viene chiesto agli intervistati quale alimentazione sceglierebbero nell'ipotesi che i propri spostamenti avvengano prevalentemente in ambito urbano o extraurbano. Per entrambi gli scenari, vengono proposte sei diverse alternative: Benzina, Diesel, GPL, Metano, Ibrido¹⁵, Elettrico.

Immagina che i tuoi spostamenti avvengano prevalentemente nel tuo comune per il motivo lavoro o servizi personali (acquisti, visite mediche); quale alimentazione sceglieresti?		
Benzina	GPL	Ibrida
Diesel	Metano	Elettrica
Immagina che i tuoi spostamenti avvengano prevalentemente in ambito extraurbano (es.verso Fisciano); quale alimentazione sceglieresti?		
Benzina	GPL	Ibrida
Diesel	Metano	Elettrica

¹⁵ Le soluzioni ibride cui si fa riferimento, anche se non direttamente specificato sono quelle Ibride Plug-In

Figura 34- Questionario I fase, sezione (iv) – Scelta dell'alimentazione dell'automobile preferita nell'ipotesi di spostamento in ambito urbano ed extraurbano

Infine, nella *quinta ed ultima sezione* di questa fase del sondaggio, viene chiesto agli intervistati il grado di importanza che essi attribuiscono a 5 fattori (velocità, accelerazione, casa automobilistica, consumo di carburante, emissioni di inquinanti) al momento dell'acquisto di un'auto. L'importanza di ciascun livello è valutata su una scala a 5 livelli, da per niente importante (1) a moltissimo importante (5).

Quando acquisti un'automobile quanto sono importanti per te i seguenti fattori?					
Consumi (km/l)	Per nulla	Poco	Abbastanza	Molto	Moltissimo
Casa automobilistica (Mercedes, BMW, Fiat, ecc..)	Per nulla	Poco	Abbastanza	Molto	Moltissimo
Velocità massima (km/h)	Per nulla	Poco	Abbastanza	Molto	Moltissimo
Accelerazione 0-100 (s)	Per nulla	Poco	Abbastanza	Molto	Moltissimo
Emissioni inquinanti (CO2, PM10...)	Per nulla	Poco	Abbastanza	Molto	Moltissimo

Figura 35- Questionario I fase, sezione (v) – Giudizio sui fattori che vengono presi in considerazione in fase di acquisto di un'automobile

Le informazioni ottenute dalle sezioni (iii) e (iv) per questa fase dell'indagine sono state utilizzate congiuntamente per identificare, a posteriori, lo stadio di cambiamento in cui si trovava un utente all'inizio dell'indagine. In particolare, lo stadio di cambiamento, rispetto ai veicoli elettrificati (ibridi o elettrici), è stato definito considerando le domande sulla conoscenza di tali veicoli e sul loro possibile utilizzo nelle aree urbane. L'appartenenza a uno stadio di cambiamento piuttosto che a un altro è stata quindi definita come segue.

- Precontemplazione: se la conoscenza dei veicoli elettrificati è nulla o incompleta e la scelta nelle aree urbane non ricade su questi veicoli.
- Contemplazione: se la conoscenza dei veicoli è completa, ma la scelta in ambito urbano non ricade su di essi o, viceversa, se la scelta ricade su questi veicoli ma gli utenti non ne hanno conoscenza o ne hanno una conoscenza incompleta.
- Preparazione: se gli utenti hanno una conoscenza completa dei veicoli elettrificati e la scelta in ambito urbano ricade su di essi.

5.2.2 II FASE - Scelta di utilizzo in contesto urbano ed extraurbano

Poiché l'indagine è stata progettata in parallelo all'evoluzione delle fasi di cambiamento, le prime due fasi dell'indagine avrebbero dovuto rispecchiare in qualche modo le fasi di pre-contemplazione e di contemplazione, rispettivamente. Per passare da una fase pre-contemplativa a una contemplativa, l'utente deve prendere coscienza dei pro e dei contro di un possibile cambiamento e quindi è necessario fornire informazioni sull'argomento rispetto al quale si vogliono valutare i possibili cambiamenti. Per questo motivo, la seconda fase del sondaggio è stata preceduta da un aggiornamento informativo. Si tratta di un video sull'attuale problema dell'inquinamento da traffico veicolare, che evidenzia i livelli di emissioni inquinanti per i diversi veicoli. Sembra giusto sottolineare che, mentre in alcune sezioni del video questi valori sono forniti riferendosi solo alle emissioni su strada, in altre sono riferiti all'intero ciclo di vita dell'auto. Questa operazione è di fondamentale importanza per rendere tutti consapevoli del fatto che le autovetture elettriche hanno 0 emissioni su strada, ma emissioni non nulle legate all'intero ciclo vita delle

stesse. Il video informativo è visualizzabile al seguente link: <https://www.youtube.com/watch?v=hcwuChbRQBQ>

Dopo la visione del video, in accordo a quanto previsto dal modello transteorico è necessario interrogare nuovamente l'intervistato sulla scelta relativa all'argomento in esame. Questo vuol dire che nella II fase dell'indagine agli intervistati devono essere ripetute le domande già effettuate nelle sezioni iii e iv della I fase. Tuttavia, per verificare l'attendibilità del campione, nella II fase sono state riproposte anche le domande delle sezioni ii e v della I fase.

5.2.3 III^A FASE - SCELTA DI ACQUISTO

Tra la seconda e la terza fase, sono stati proposti agli intervistati altri aggiornamenti informativi per aumentare la loro consapevolezza, ovvero il punto di partenza per il passaggio tra lo stadio di contemplazione e lo stadio di preparazione, in cui il soggetto in questione intende modificare il proprio comportamento nell'immediato futuro.

Siccome dall'analisi dei questionari somministrati nelle precedenti due fasi agli intervistati è emerso un livello di conoscenza solo parziale riguardante i veicoli elettrici, in questa fase informativa si è ritenuto necessario fornire una serie di delucidazioni, atte ad accrescerne la conoscenza, soffermandosi su quegli aspetti che più differenziano i veicoli elettrificati dalle altre tipologie di alimentazione, quali il funzionamento, la ricarica, i costi.

Più nel dettaglio le informazioni fornite hanno avuto come oggetto i seguenti argomenti:

- Pro e contro di un veicolo elettrico;
- Come e dove ricaricare un BEV/PHEV;
- Come si guida un EV;
- Problematiche legate alla sicurezza di un BEV/PHEV;
- Costo di un EV;
- Costi di ricarica;
- Impatti ambientali.

La strategia perseguita in questa fase informativa ha visto l'invio di notizie di tipo push, sul gruppo broadcast di WhatsApp. Le notizie push inviate erano strutturate in tre diverse categorie: notizie di solo testo; immagini; notizie contenenti testo e immagini. Le schermate delle notizie push inviate sono riportate nell'appendice B.

Vale la pena sottolineare che la scelta di ricorrere ad un canale informativo diverso da quello utilizzato tra le due precedenti fasi dell'indagine è stata opportunamente ponderata. Tale scelta è legata ai processi di cambiamento che caratterizzano ciascuno stadio tra quelli individuati nel modello transteorico e dunque alle informazioni da fornire agli intervistati. In accordo a quanto riportato in Friman et al. (2017), tra i processi di cambiamento che caratterizzano la fase precontemplativa abbiamo "l'aumento di coscienza", la "rivalutazione ambientale" e "l'inquadramento positivo"; si tratta di processi di cambiamento che potevano essere innescati con la visione del video proposto, senza applicare sugli utenti troppa "pressione" (in conformità allo stadio stesso considerato), ma al contrario sperando di suscitare in loro una certa curiosità inerente alle tematiche affrontate. Al contrario, tra i processi del cambiamento che caratterizzano le fasi di contemplazione e preparazione abbiamo il "concentrarsi sui fattori importanti", la "persuasione di risultati positivi", il "superamento delle barriere", il "miglioramento delle abilità". Questi processi di cambiamento sono di natura più specifica e fornire agli intervistati tutte le informazioni ritenute importanti per perseguire alcuni dei suddetti processi, tramite un nuovo video, rischiava di risultare parzialmente noioso e controproducente (mancanza di attenzione alla visione). Per tale motivo si è scelto di procedere tramite l'invio di notizie push, che riuscissero a trasferire tutte le informazioni importanti con una distribuzione temporale tale da evitare l'adattamento e la noia degli intervistati.

Al termine della fase informativa, è stata sottoposta al campione una nuova indagine (Fase III), al fine di indagare il tipo di veicolo preferito, tra quelli proposti, in diversi scenari.

In particolare, è stato chiesto agli intervistati di immaginare il futuro acquisto di un'auto, ipotizzando di

- utilizzare l'auto esclusivamente per gli spostamenti urbani
- avere uno stipendio sufficiente per acquistare i modelli proposti;
- guidare mediamente 30 km al giorno.

Inoltre, al campione è stato ricordato che:

- I distributori di GPL e metano sono presenti esclusivamente al di fuori del centro urbano;
- Alcune case automobilistiche avrebbero potuto smettere di produrre auto a diesel a partire dal 2030.

Ad ogni intervistato sono stati sottoposti 8 scenari di scelta, in cui variavano due attributi: il luogo in cui era possibile ricaricare i veicoli elettrici e i costi di acquisto dei veicoli elettrici o ibridi.

In particolare, per quanto riguarda la ricarica dell'auto elettrica/plug-in, sono state considerate:

- la possibilità di ricaricare il veicolo elettrico ovunque (casa/lavoro o su strada) → scenari 1,3,5 e 7;
- la possibilità di ricaricare il veicolo elettrico esclusivamente attraverso le colonnine presenti su strada → scenari 2,4,6 e 8.

Per quanto riguarda i costi, invece, per ogni scenario relativo alle due tipologie di ricarica, sono state ipotizzate 4 variazioni di costo dell'auto elettrica, rispetto al modello a benzina, e una variazione di costo dell'auto ibrida. In particolare, sono stati considerati

- Un costo dell'auto elettrica superiore del 20% rispetto al costo dell'auto a benzina, per gli scenari 1 e 2;
- Un costo dell'auto elettrica superiore del 30% rispetto al costo dell'auto a benzina e, contemporaneamente, una riduzione del costo della tipologia ibrida, per gli scenari 3 e 4;
- Un costo dell'auto elettrica superiore del 40% rispetto al costo dell'auto a benzina, per gli scenari 5 e 6;
- un costo dell'auto elettrica superiore del 50% rispetto al costo dell'auto a benzina, per gli scenari 7 e 8.

La Tabella 2 riassume le variazioni degli attributi nei diversi scenari.

Tabella 2. Variazione degli attributi e relativi scenari

	Ricarica ovunque	Ricarica solo in strada
Costo dell'elettrica maggiore del 20%	Scenario 1	Scenario 2
Costo dell'elettrica maggiore del 30% e riduzione del costo dell'ibrida	Scenario 3	Scenario 4
Costo dell'elettrica maggiore del 40%	Scenario 5	Scenario 6
Costo dell'elettrica maggiore del 50%	Scenario 7	Scenario 8

Agli intervistati è stata quindi proposta una tabella, per ogni scenario, in cui venivano presentate le caratteristiche tecniche e di costo di un'auto di riferimento (Fiat 500) ma diversamente alimentata, con valori espressi sia in termini assoluti sia come variazione percentuale rispetto alla soluzione alimentata a benzina.

L'elaborazione di tali tabelle ha richiesto un'attenta analisi del mercato auto, al fine di selezionare quei modelli, appartenenti allo stesso segmento, presenti in differenti tipologie di alimentazione. Affinché l'intervistato focalizzasse la sua attenzione esclusivamente sui parametri tecnici e di costo, si è scelto di presentare al campione un unico modello di veicolo, supponendo che fosse presente sul mercato per ogni tipo di alimentazione. Data la sua grande diffusione, è stata scelta la Fiat 500. Per le alimentazioni non presenti (non erano ancora disponibili le versioni ibride ed elettriche della Fiat 500 sul mercato, sebbene la loro uscita fosse già stata annunciata) si è fatto riferimento ad automobili, presenti nelle alimentazioni cercate, con caratteristiche tecniche simili ed appartenenti allo stesso settore di mercato.

I principali dati relativi alle caratteristiche tecniche sono stati ricercati consultando, da un lato, le schede tecniche proposte dalle case automobilistiche, dall'altro, quelle derivanti dalle prove su strada presenti su diverse riviste di settore (Quattroruote, Al volante, Drivek). Inizialmente il lavoro ha visto in parallelo l'elaborazione di due differenti tabelle: una in cui comparivano esclusivamente i dati dichiarati dalle case automobilistiche; un'altra basata su dati reali, ottenuti dalle prove su strada. Laddove è emersa l'impossibilità di reperire alcuni dati, in particolare derivanti dalle prove su strada, questi sono stati ricavati tramite un'interpolazione lineare dei dati di auto con caratteristiche simili.

Per quanto riguarda i dati relativi ai costi, sono state considerate tre differenti voci. Una prima voce è data dalla somma dell'upfront cost (costo di acquisto) e del costo di manutenzione ai quali è stato detratto il costo di eventuali incentivi; La seconda voce è rappresentata dal costo mensile del carburante (o della ricarica nel caso dei veicoli elettrici); infine, la terza voce è data dal costo totale. Vista la necessità, per fornire la terza voce, come somma delle due precedenti, anche la prima voce è stata fornita in termini di costo mensile.

Noti, infatti, gli upfront cost di ogni singola automobile, si è passati al calcolo del costo mensile. Tale costo è stato ricavato analizzando sia le soluzioni di rateizzazione proposte dalle diverse case automobilistiche, sia la soluzione di noleggio a lungo termine. In entrambi i casi si è presa in considerazione una rateizzazione su 36 mesi, considerando l'anticipo previsto spalmato sull'intero periodo di rateizzazione. Tale quota, inoltre, risultava comprensiva delle spese accessorie, quali manutenzione, bollo auto e copertura assicurativa (e nel caso di acquisto anche di eventuali incentivi per rottamazione), così come previsto dalle soluzioni precedentemente citate. Avendo verificato che i risultati delle due soluzioni risultassero poco differenti e tenendo conto che l'attuale trend si sposta dalle soluzioni di acquisto a quelle di noleggio a lungo termine i valori forniti in tabella agli intervistati sono quelli proposti dalle soluzioni a noleggio. Anche in questo caso, in assenza dell'alimentazione cercata per il modello in esame si è fatto riferimento ad automobili, presenti nelle alimentazioni cercate, con caratteristiche tecniche simili ed appartenenti allo stesso settore di mercato.

Si ritiene utile sottolineare che, nonostante venga proposto agli intervistati di avere a disposizione un salario sufficiente per acquistare tutte le tipologie di alimentazioni, il costo di acquisto (upfront cost) viene comunque preso in considerazione perché, allo stato attuale, rappresenta una delle maggiori barriere all'acquisto di veicoli elettrificati. D'altro canto, si suppone che la spesa venga comunque rateizzata mensilmente e che, pertanto, questo si traduca in una rata più elevata per i veicoli elettrici ed ibridi, ma comunque sostenibile con uno stipendio mensile medio, forse a discapito di altre spese, a cui l'intervistato potrebbe dare maggiore o minore priorità. Pertanto, sebbene venga chiesto agli intervistati di considerare uno stipendio tale da coprire le spese di ciascuna scelta, il costo di acquisto continua ad essere un determinante delle scelte stesse, in funzione degli altri obiettivi personali di ciascuno.

Per il costo carburante si sono considerati i prezzi medi di mercato per le varie tipologie di rifornimento. Il prezzo per la ricarica di un veicolo elettrico, invece, è stato ricavato effettuando una media tra la tariffa per la ricarica domestica (0.25€ /kWh) e quella per la ricarica da una colonnina pubblica da 22 kW (0.5€ /kWh).

Chiaramente i costi mensili per una ricarica o per un pieno sono dati dal prodotto di questi costi unitari per i consumi dell'automobile. Ne consegue che si avranno costi diversi a seconda che si considerino i dati dei consumi relativi alle schede tecniche fornite dalle case automobilistiche o a quelli relativi alle prove su strada. Per rendere quindi gli scenari proposti all'intervistato il più realistici possibili le schede sottomesse nel questionario sono quelle che fanno riferimento ai valori (consumi, autonomia e costo mensile di carburante/ricarica) delle prove su strada, più vicini a ciò che un utente può percepire durante l'esperienza di guida.

Noti tutti i dati per ogni singolo veicolo, si è passati a confrontare i dati ottenuti per ogni singola caratteristica, tra le differenti alimentazioni, per uno stesso modello di autovettura, in modo da ottenere le variazioni Δ , in termini percentuali, rispetto alle caratteristiche della tipologia a benzina, presa come riferimento.

Per poter confrontare i consumi delle varie alimentazioni sono stati utilizzati opportuni coefficienti di variazione che consentissero trasformare tutte le alimentazioni in litri di benzina.






Per evitare l'effetto fatica, dopo i primi 4 scenari è stato proposto agli intervistati un breve video divertente.

Per ogni scenario, all'intervistato è stato chiesto quale alimentazione avrebbe preferito acquistare. Le alternative di scelta proposte nella tabella erano 6: benzina, diesel, metano, GPL, ibrido plug-in ed elettrico; Come vedremo, a valle di alcune elaborazioni, queste alternative sono state poi raggruppate in tre gruppi: veicoli convenzionali (diesel e benzina), veicoli bifuel (GPL e metano) e veicoli elettrificati (ibrido ed elettrico).

Quale alimentazione sceglieresti in questo caso?		
Benzina	GPL	Ibrida
Diesel	Metano	Elettrica







Figura 36 – III fase- Scelta dell'alimentazione (per ogni scenario)

Di seguito si riportano le tabelle proposte nei vari scenari. Siccome le caratteristiche tecniche restano invariate tra tutti gli scenari e siccome i prezzi variano per i 4 scenari relativi alle due diverse tipologie di ricarica, si riporta un'unica volta la parte di tabella relativa alle caratteristiche tecniche e 4 tabelle relative alla variazione dei costi (validi per entrambi gli scenari di ricarica).

	Velocità Max [km/h]	Potenza [kW]	Accelerazione [0-100 sec]	Consumi	Emissioni [gCO ₂ /km]	Autonomia [km]
Benzina 	163	51	12,9	6,4 [l benzina/100km]	115	547
Bi-fuel: Metano / Benzina * 	163	0%	12,9	6,84 [m3 metano/100km] + 1,28 [l benzina/100km] corrispondenti a 7,26 [l/100km]	+3%	340 231 metano+ 109 benzina
Bi-fuel: GPL / Benzina * 	163	0%	12,9	7,89 [l GPL/100km] + 1,28 [l benzina/100km] corrispondenti a 5,46 [l/100km]	+6%	356 247 GPL+ 109 benzina
Diesel 	180	+27%	10,7	5,71 [l gasolio/100km] corrispondente a 4,28 [l/100km]	-21%	613
Ibrida 	154	-11%	11,8	5,25 [l benzina/100km]	-38%	667
Elettrica 	139	+ 67%	10	18,84 [kWh/100km] corrispondente a 2,27 [l/100km]	0 emissioni	288






* Per le alimentazioni bi-fuel si ipotizza un funzionamento del 20% a benzina e dell'80% con alimentazione non convenzionale.

Figura 37 – III fase- caratteristiche tecniche delle automobili (valide in tutti gli scenari)

	Costo mensile (acquisto+mantenimento) [€/mese]	Costo mensile carburante [€/mese]	Costo Tot mensile [€/mese]
Benzina 	273	136	409
Bi-fuel: Metano / Benzina  *	335	86	421
Bi-fuel : GPL / Benzina  *	276	82	357
Diesel 	338	107	445
Ibrida 	364	112	475
Elettrica 	327	88	415

* Per le alimentazioni bi-fuel si ipotizza un funzionamento del 20% a benzina e dell'80% con alimentazione non convenzionale.







Figura 38 – III fase- Costi delle automobili (validi negli scenari 1 e 2)

	Costo mensile (acquisto+mantenimento) [€/mese]	Costo mensile carburante [€/mese]	Costo Tot mensile [€/mese]
Benzina 	273	136	409
Bi-fuel: Metano / Benzina  *	335	86	421
Bi-fuel : GPL / Benzina  *	276	82	357
Diesel 	338	107	445
Ibrida 	300	112	412
Elettrica 	354	88	443

* Per le alimentazioni bi-fuel si ipotizza un funzionamento del 20% a benzina e dell'80% con alimentazione non convenzionale.







Figura 39 – III fase- Costi delle automobili (validi negli scenari 3 e 4)¹⁶

¹⁶ Scenari che prevedono la riduzione del costo di acquisto dei veicoli ibridi contestualmente all'incremento del costo di acquisto dell'elettrico del 30% rispetto alla soluzione a benzina.

	Costo mensile (acquisto+mantenimento) [€/mese]	Costo mensile carburante [€/mese]	Costo Tot mensile [€/mese]
Benzina 	273	136	409
Bi-fuel: Metano / Benzina  *	335	86	421
Bi-fuel : GPL / Benzina  *	276	82	357
Diesel 	338	107	445
Ibrida 	364	112	475
Elettrica 	382	88	470

* Per le alimentazioni bi-fuel si ipotizza un funzionamento del 20% a benzina e dell'80% con alimentazione non convenzionale.

Figura 40 – III fase- Costi delle automobili (validi negli scenari 5 e 6)

	Costo mensile (acquisto+mantenimento) [€/mese]	Costo mensile carburante [€/mese]	Costo Tot mensile [€/mese]
Benzina 	273	136	409
Bi-fuel: Metano / Benzina  *	335	86	421
Bi-fuel : GPL / Benzina  *	276	82	357
Diesel 	338	107	445
Ibrida 	364	112	475
Elettrica 	409	88	497

* Per le alimentazioni bi-fuel si ipotizza un funzionamento del 20% a benzina e dell'80% con alimentazione non convenzionale.

Figura 41 – III fase- Costi delle automobili (validi negli scenari 7 e 8)

In questa fase di indagine sono state proposte agli intervistati anche una serie di affermazioni o domande con l'obiettivo di indagare i costrutti postulati dalla Teoria del comportamento pianificato e anche altri fattori psicoattitudinali di nostro interesse.

In particolare, gli item hanno riguardato le seguenti dimensioni:

- Attitudine verso i veicoli elettrificati;
- Norme soggettive;

- Controllo comportamentale percepito (PBC).
- Vantaggi relativi dei veicoli elettrici, ossia un insieme di vantaggi e svantaggi, a seconda della considerazione dell'utente;
- Motivi per l'acquisto o meno di un veicolo elettrico.

Tutti gli items relativi ai tre costrutti della TPB sono stati sottoposti agli intervistati in ordine casuale, per evitare possibili collegamenti con la dimensione indagata. Analogamente alla prima fase, ciascuno di questi tratti viene indagato presentando 5/6 affermazioni, rispetto alle quali viene chiesto all'intervistato di esprimere il proprio grado di accordo/disaccordo, utilizzando una scala Likert a 5 livelli:

- Per nulla d'accordo
- Poco d'accordo
- Abbastanza d'accordo
- Molto d'accordo
- Fortemente d'accordo

Anche in questo caso gli items sono riportati nell'Appendice B (Tabella 88).

Con riferimento al quadro proposto dalla TPB, anche da questa fase sono stati ricavati a posteriori due costrutti. Poiché l'indagine somministrata segue la tipologia SP e non è stato possibile condurre un'indagine RP per valutare l'effettivo acquisto del tipo di veicolo, l'intenzione comportamentale e il comportamento effettivo postulati nel TPB sono stati valutati indirettamente. In particolare, le risposte relative al primo scenario della terza fase dell'indagine sono state considerate rappresentative dell'intenzione comportamentale, mentre quelle relative agli scenari 2-8 (scenari via via più severi) sono state considerate rappresentative del comportamento effettivo. Ne consegue che, complessivamente, il lavoro è stato svolto considerando 1267 interviste (181 intervistati che agiscono diversamente in 7 scenari di scelta). Per il costrutto è stata presa in considerazione una scala a tre livelli che fosse rappresentativa dell'intenzione comportamentale di spostamento verso alimentazioni differenti da quelle convenzionali. I tre livelli sono infatti rappresentati dal:

- livello 1, in cui ricadono le scelte relative alle soluzioni Benzina e Diesel (Convenzionali)
- livello 2, in cui ricadono le scelte relative alle soluzioni GPL e Metano (Bifuel)
- livello 3, in cui ricadono le scelte relative alle soluzioni Elettrica e Ibrida (EVs)

5.3 Analisi Preliminari Dei Dati

5.3.1 Analisi descrittive

Innanzitutto, dato lo sviluppo in fasi dell'indagine, si è reso necessario individuare una opportuna base dati, formata dai soli utenti che avessero portato correttamente a termine tutte le fasi dell'indagine. I dati provenienti da ciascuna fase dell'indagine sono stati quindi opportunamente associati ai corrispettivi intervistati tramite l'utilizzo di Microsoft Access.

Una volta individuata una corretta relazione tra le differenti fasi dell'indagine, la base dati è stata opportunamente ripulita. In particolare la pulizia è stata effettuata sulla scorta di eventuali incoerenze riscontrate per ciascun rispondente (ad esempio sono stati esclusi gli intervistati che hanno dichiarato un numero di patentati in famiglia superiori al numero dei componenti del nucleo familiare dichiarato) o sfruttando le domande particolari inserite tra le domande attitudinali per testare il livello di attenzione degli intervistati (ad esempio sono stati esclusi gli intervistati che hanno dichiarato di essere molto d'accordo con l'affermazione "sarei felice se mi conficcassi un chiodo nella mano").

A valle di questa pulizia la base dati è risultata composta da 199 rispondenti. Una successiva analisi condotta in senso longitudinale tra le fasi, ha invece richiesto un'ulteriore riduzione degli intervistati a 181 (ad esempio, sono stati eliminati gli utenti che in una prima fase avevano dichiarato di avere una parziale conoscenza dei veicoli elettrici ed in seconda fase avevano dichiarato di non avere conoscenza sui veicoli elettrici).

In questo paragrafo si riportano, in termini descrittivi le caratteristiche del campione (199 intervistati) e le principali informazioni ricavate per ciascuna fase dell'indagine. Questa fase di analisi preliminare dei dati è stata condotta in maniera manuale su Microsoft Excel. Sono state analizzate, sfruttando i principali indicatori statistici, le singole informazioni, ma anche, spesso sfruttando lo strumento delle tabelle Pivot, delle informazioni incrociate tra domande appartenenti alle differenti sezioni e fasi dell'indagine.

Si riportano di seguito le principali informazioni ricavate dalla fase I, dalla fase III e dall'incrocio tra le due. I risultati relativi alla fase II non vengono riportati perché, come verrà meglio chiarito dopo, a valle dell'applicazione di test non parametrici, le informazioni ricavate dalla prima e dalla seconda fase possono ritenersi uguali, a meno di piccole variazioni dovute ad effetti casuali.

5.3.1.1 FASE I

CARATTERISTICHE SOCIO-ECONOMICHE

Il campione esaminato è costituito in prevalenza da persone di genere maschile (67%) e da utenti che hanno età compresa tra 19 e i 30 anni, con una prevalenza di utenti ventunenni.

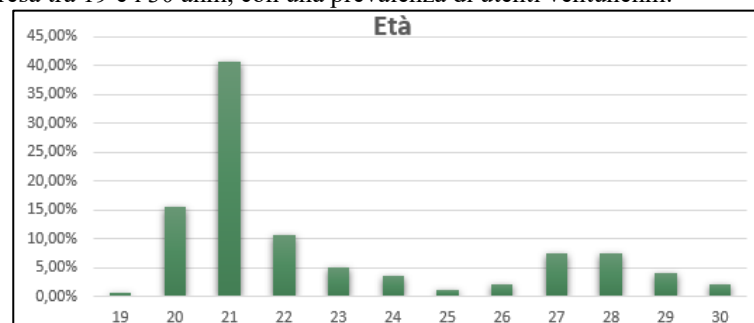


Figura 42 – Frequenze relative della variabile "età"

Circa la metà degli intervistati vive a ridosso della zona centrale, la restante parte vive prevalentemente in periferia. Una ridotta percentuale di intervistati risiede nel centro storico delle rispettive città di appartenenza.

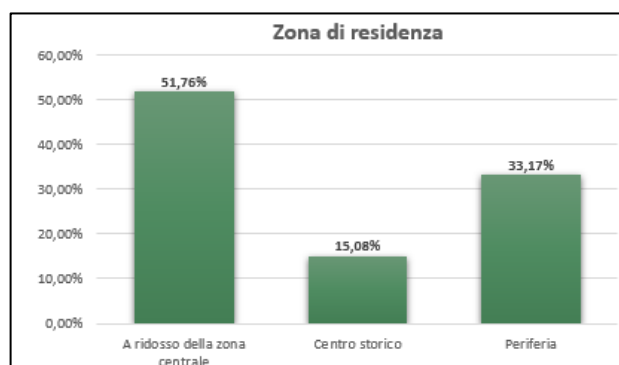


Figura 43 – Frequenze relative della variabile “zona di residenza”

Come già anticipato il campione è composto da studenti e/ giovani lavoratori. L’84% degli intervistati è costituito da utenti che studiano soltanto, il 7% è costituito da studenti che lavorano anche o che sono comunque in cerca di occupazione, ed il restante 9% è costituito da giovani lavoratori o in cerca di occupazione.

La maggior parte degli intervistati fa parte di nuclei familiari composti da 4 persone (55%), seguono poi quelli con nucleo familiare da 5 persone (24%) e da 3 (14%); trascurabili invece le famiglie da 6 (4%), da 2 (2%) e gli intervistati che vivono soli (1%).

La quasi totalità degli intervistati (97%) possiede la patente di guida B; inoltre se si confronta il numero di patentati in famiglia con il numero di componenti del nucleo familiare quasi tutti i componenti della famiglia risultano patentati;

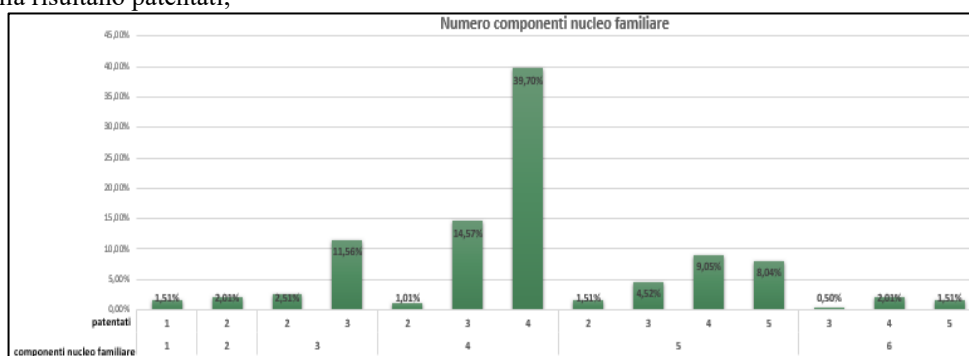


Figura 44 – Confronto tra numero di componenti del nucleo familiare e patentati in famiglia

Il 99,5% degli intervistati, inoltre, possiede almeno un autoveicolo in famiglia: la maggior parte delle famiglie (47%) possiede 2 autoveicoli, leggermente ridotta la percentuale di coloro che possiedono 3 autovetture (27%). Il 17% possiede un unico autoveicolo mentre sono basse le percentuali di chi possiede più di 3 autoveicoli.

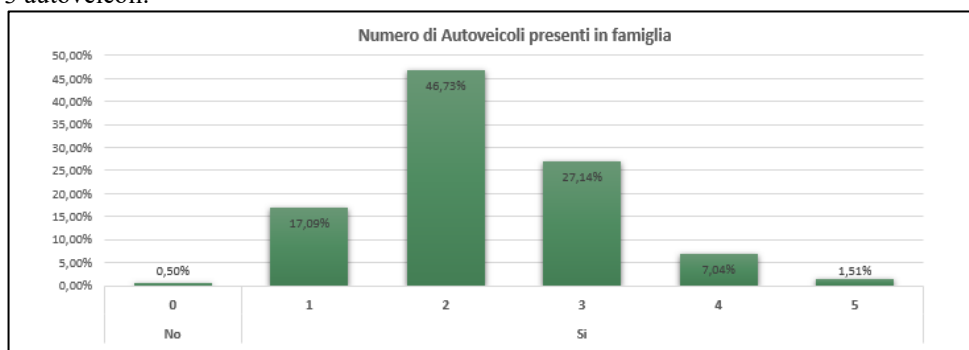


Figura 45 – Frequenze della variabile “numero di autoveicoli presenti in famiglia”

Passando ad analizzare il numero di moto e motocicli posseduti, si nota che circa $\frac{1}{4}$ degli intervistati ne possiede almeno uno, il 60% ne è privo. La restante parte possiede 2 o più motocicli.

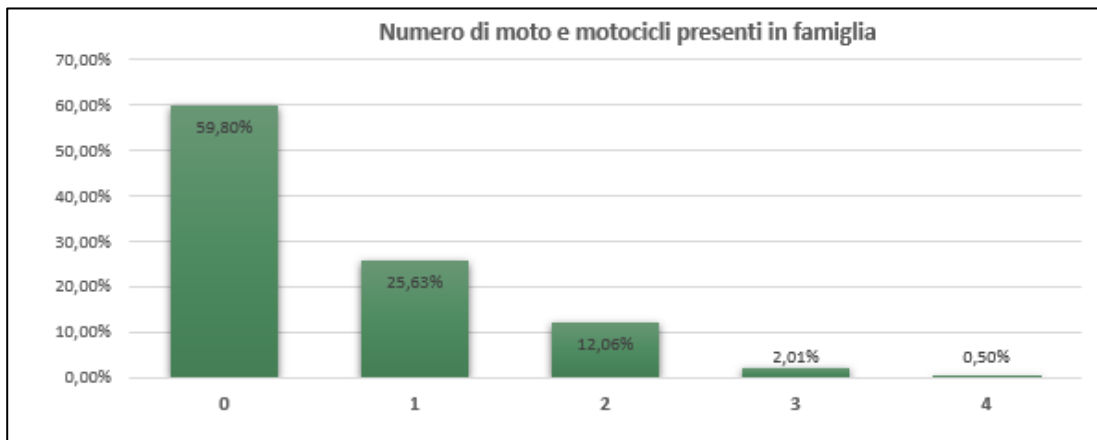


Figura 46 –Frequenze della variabile “numero di moto e motocicli presenti in famiglia”

Emerge, poi, che tra le auto possedute, l'alimentazione a Diesel risulta essere quella più diffusa. Notevolmente diffuse anche le alimentazioni Benzina e bifuel Gpl. Pochi coloro che posseggono un'auto bifuel Metano e auto Ibride.

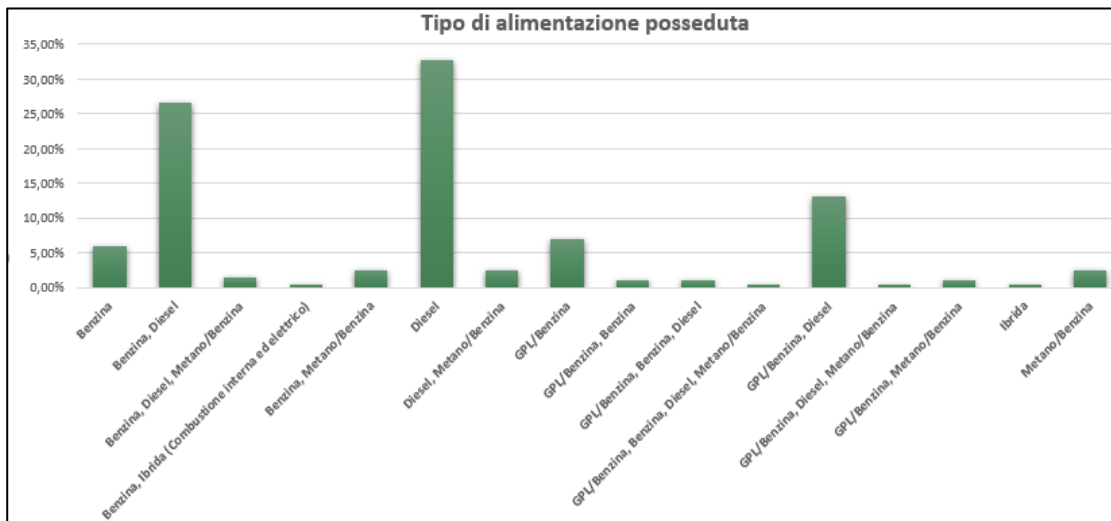


Figura 47 –Frequenze della variabile “alimentazione posseduta”

È stata poi analizzata la disponibilità di parcheggio per l'auto principale posseduta da ciascun intervistato. È emerso che la maggior parte degli intervistati possiede un box indipendente (57%) o risiede in un parco residenziale con posto auto scoperto (25%). Il 16% degli intervistati parcheggia la propria autovettura in strada, mentre sono pochi coloro i quali usufruiscono di un garage a pagamento (2,01%).

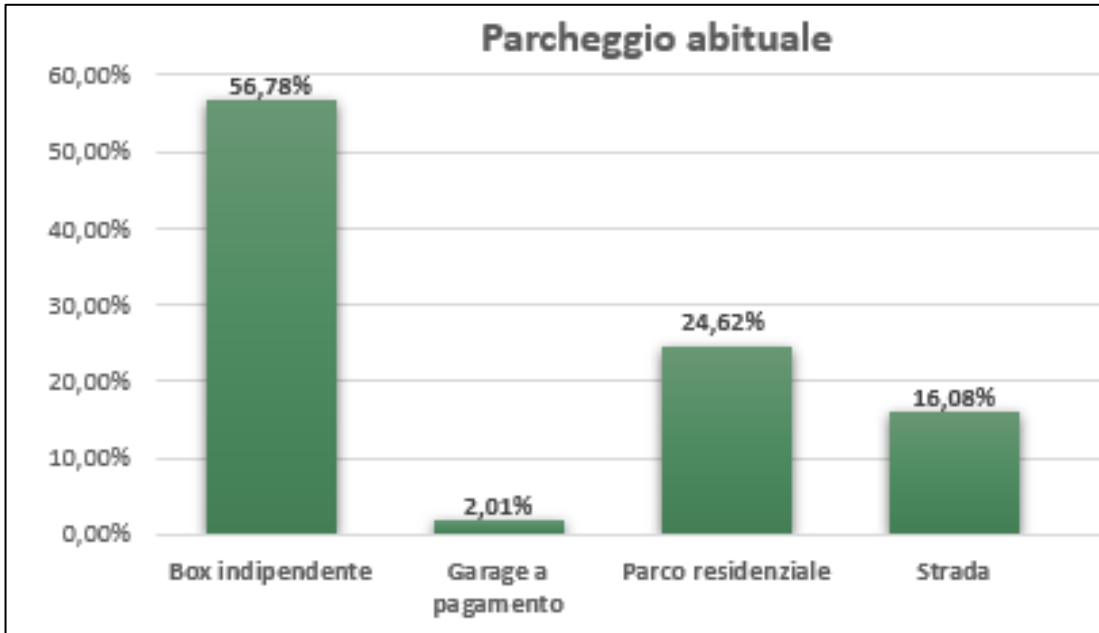


Figura 48 – Frequenze della variabile “parcheggio abituale”

In merito al potere decisionale riguardante l’acquisto o la vendita di un veicolo in famiglia, il campione è risultato diviso a metà: il 50,25% ha espresso parere positivo, il 49,75% non ha invece potere decisionale. In merito alle modalità di trasporto usualmente utilizzate per raggiungere l’università (o il posto di lavoro, per i lavoratori), il 58% degli intervistati utilizza l’autobus ed una parte comunque significativa del campione (il 39%) utilizza l’auto. Trascurabili coloro che raggiungono l’università a piedi, o con la soluzione di carpooling. Gli spostamenti per motivo svago, invece, avvengono quasi completamente in auto (91%). Il restante 9% si divide tra le altre modalità di trasporto, tra cui prevale lo spostamento a piedi.

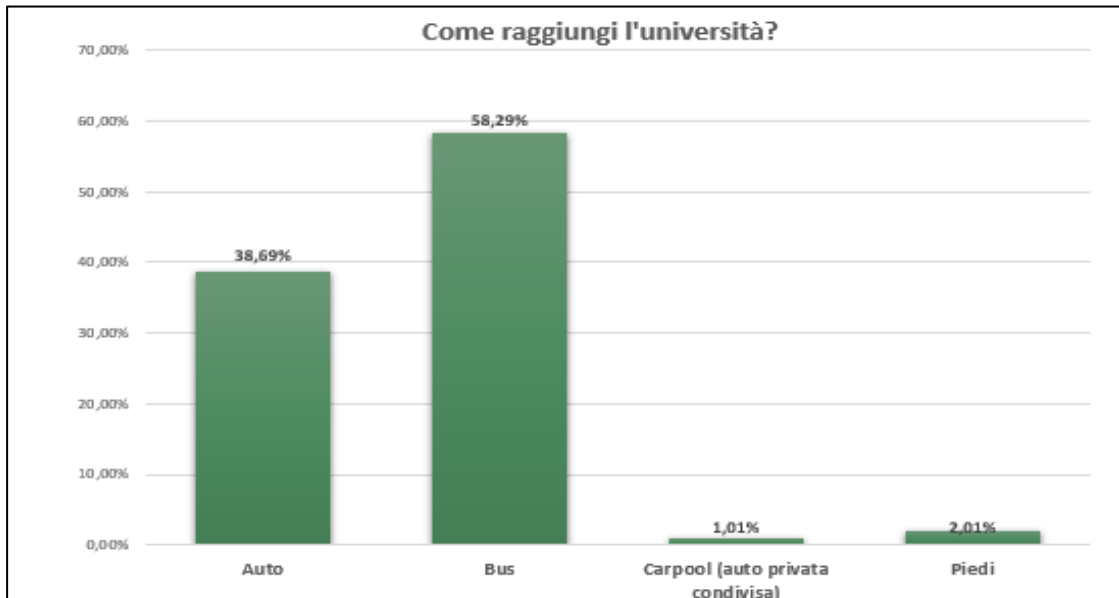


Figura 49 – Frequenze della variabile “modalità di spostamento casa-studio”

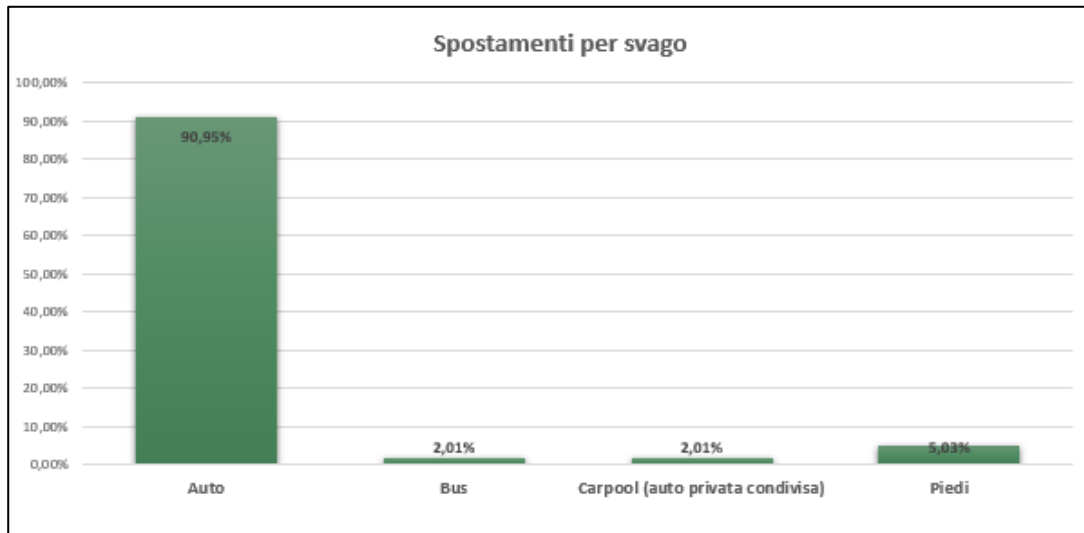


Figura 50 –Frequenze della variabile “modalità di spostamento casa-svago”

Per quel che concerne, infine, i chilometri mediamente percorsi ogni giorno, la maggior parte degli utenti (81%) si attesta entro un massimo di 30 km (valore indicativo di riferimento compatibile con l'utilizzo di un veicolo elettrico). Il 15% dichiara una percorrenza tra i 30-50 km giornalieri. Solo una ridotta percentuale del 4% percorre distanze superiori ai 50km.

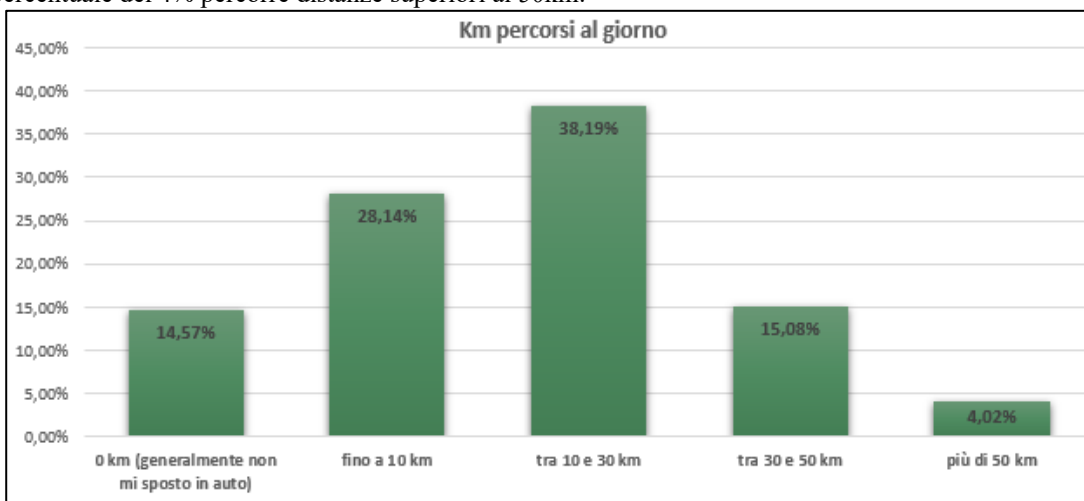


Figura 51 –Frequenze della variabile “km giornalieri percorsi”

Di seguito, si riportano le principali statistiche descrittive relative agli indicatori utilizzati per esplorare le 4 variabili latenti di interesse, investigate in questa fase dell'indagine, ovvero percezione dei consumi, attitudine verso l'ambiente, attitudine verso la tecnologia e norme sociali. Si ricorda che per ciascun indicatore è stato richiesto agli intervistati di fornire dei giudizi utilizzando una scala Likert a 5 livelli con la quale esprimere il proprio grado di accordo o disaccordo con l'affermazione proposta. Ogni categoria della scala Likert è stata poi codificata con un valore compreso tra 1 e 5¹⁷ da 1 = “per nulla d'accordo” a 5 = “fortemente d'accordo”.

¹⁷ Sebbene fosse più adatta una codifica tra 0 e 4, in maniera tale che il “per nulla d'accordo” potesse corrispondere ad un valore nullo, la codifica proposta nel caso in esame produce risultati invariati, in quanto l'attributo non viene direttamente introdotto nella funzione di utilità dei modelli di scelta, ma solo in maniera indiretta, tramite le variabili latenti (o codificato come dummies)

È bene specificare che in fase di analisi tutte le affermazioni sono state analizzate in maniera tale che potessero partecipare con la stessa chiave di lettura all'individuazione del fattore latente sotteso; pertanto, le domande inserite nel questionario con chiave di lettura opposta alla variabile latente studiata (operazione consiglia in letteratura per poter mantenere alta la concentrazione degli intervistati ed evitare l'effetto assuefazione), sono state codificate con chiave di lettura invertita. Ad esempio: l'affermazione "Non presto molta attenzione alla raccolta differenziata" è stata trattata come "Presto molta attenzione alla raccolta differenziata" e conseguentemente una risposta "Per nulla d'accordo" all'affermazione originaria, non è stata codificata come 1, ma come 5 che equivale a dire che l'utente è fortemente d'accordo con l'affermazione positiva.

CONSUMI

La tabella che segue riassume, per ciascun indicatore, la ripartizione tra le diverse categorie, nonché riporta la mediana, la moda e l'intervallo interquartile. Si ricorda che il riferimento tra ciascun codice e l'indicatore è riportato in appendice B (Tabella 87).

Tabella 3. Frequenze, indicatori di centralità e di dispersione per gli indicatori del costruito consumi

Cod.	Indicatore	1	2	3	4	5	Mediana	Moda	Q1	Q3	IQ
c1	Bilancio settimanale	3%	6%	23%	43%	25%	4	4	3	5	2
c2	Offerte telefoniche	6%	29%	31%	21%	13%	3	3	2	4	2
c3	Supermercati economici	11%	34%	29%	21%	5%	3	2	2	4	2
c4	Offerte volantini	5%	16%	26%	42%	11%	4	4	3	4	1
c5	Pranzo da casa	14%	28%	28%	21%	9%	3	3	2	4	2
c6	Rifornimento carburante	3%	5%	13%	37%	42%	4	5	4	5	1
c7	Pedaggio	16%	37%	30%	11%	6%	2	2	2	3	1

Riguardo l'eventualità di un bilancio dei soldi spesi ogni settimana, gli utenti si sono rivelati attenti a questo aspetto. Pochi utenti (9%) si sono dichiarati poco attenti ai soldi spesi settimanalmente. Diversa è la situazione relativa alle "offerte telefoniche"; di fatti il 35% degli utenti presta nessuna o una ridotta attenzione alle stesse.

Anche se non in maniera netta si osserva una situazione inversa per l'indicatore "spesa economica"; in tal caso, infatti, gli utenti che non effettuano la spesa solo nei supermercati più economici salgono al 45%.

In merito all'indicatore offerte sui volantini, solo il 21% degli intervistati si è dimostrato poco attento alle stesse.

Riguardo all'eventualità di portare il pranzo da casa, il 58% degli intervistati si è dichiarato d'accordo. Risulta però alta la percentuale di coloro che preferiscono acquistare il pranzo presso i servizi offerti dall'università (comunque ad un prezzo conveniente).

Il rifornimento del carburante viene effettuato dagli intervistati facendo attenzione ai prezzi esposti dai distributori. Coloro che ripongono poca attenzione a tale situazione costituiscono solo l'8% del campione. Infine, tra una strada a pedaggio più breve e una più lunga ma senza pedaggio la maggior parte degli intervistati preferisce la prima alternativa, come espresso dal 53% del totale.

Le risposte fornite dagli intervistati per questa sezione mostrano un andamento variabile. Gli intervistati si sono dichiarati attenti ai prezzi del carburante e al bilancio settimanale delle spese effettuate. Nonostante ciò, la maggior parte preferisce percorrere una strada più breve, a fronte di un costo maggiore, ed è comunque rilevante la percentuale di coloro i quali si mostrano poco attenti ad eventuali offerte o ad effettuare la spesa presso supermercati economici.

AMBIENTE

Analogamente a quanto fatto per il costrutto relativo alla percezione dei consumi, si procede anche per il costrutto relativo all'attitudine verso l'ambiente.

Tabella 4. Frequenze, indicatori di centralità e di dispersione per gli indicatori del costrutto ambiente

Cod	Indicatore	1	2	3	4	5	Mediana	Moda	Q1	Q3	IQ
a1	Differenziazione dei rifiuti	1%	1%	4%	31%	63%	5	5	4	5	1
a2	Tempo parchi	5%	24%	39%	26%	6%	3	3	2	4	2
a3	Piste ciclabili e pedonali	0%	2%	8%	32%	58%	5	5	4	5	1
a4	Oggetti riciclati	3%	7%	18%	38%	34%	4	4	3	5	2
a5	Utilizzo Borraccia	3%	10%	13%	33%	41%	4	5	3	5	2
a6	Chiusura rubinetto	3%	8%	10%	23%	56%	5	5	4	5	1
a7	Dcisioni emissioni	0%	0%	4%	22%	74%	5	5	4	5	1

Dalla Tabella 4 si evince che:

- oltre il 94% del campione sia sensibile alla problematica della differenziazione dei rifiuti.
- Vi è una ripartizione piuttosto equa tra coloro i quali preferiscono passare del tempo in parchi pubblici e coloro che non lo preferiscono; alta è anche la percentuale degli utenti (39%) che sono abbastanza d'accordo, ma non hanno una preferenza eccessiva.
- Il 98%, inoltre, ritiene sia necessaria la realizzazione di piste ciclabili e pedonali nelle città. Minima la percentuale di colori i quali ritengono tale fattore poco importante.
- Grande attenzione al giorno d'oggi viene riservata a problematiche ambientali. Riciclare oggetti di plastica e carta costituisce una delle principali strade per combattere gli effetti negativi prodotti dall'uomo. Questa problematica risulta sentita anche dagli intervistati che, con una percentuale dell'89%, si mostrano favorevoli al riciclo. Una minoranza del 10% si mostra invece per nulla o poco d'accordo.
- Più dell'85% degli intervistati si è ritenuto anche d'accordo all'utilizzo di una borraccia, al fine di ridurre il consumo di bottiglie d'acqua in plastica.
- Per quel che concerne lo spreco di acqua, anche in questo caso il campione si è rivelato sensibile a tale problematica, ritenendosi d'accordo sulla necessità di dover chiudere il rubinetto mentre si lavano i denti. Poco attenti una ridotta parte degli intervistati, circa l'11%.
- La totalità del campione si ritiene, infine, d'accordo sul bisogno e la necessità di assumere atteggiamenti che abbiano come risultato quello di ridurre le emissioni.

Analizzando nel complesso le risposte fornite in merito alla sezione "Ambiente", si nota come il campione risulti particolarmente attento e sensibile a problematiche di tipo ambientale, consapevole della necessità di agire al fine di ridurre al minimo gli impatti.

TECNOLOGIA

Analogamente si procede anche per il costrutto relativo all'attitudine verso la tecnologia.

Tabella 5. Frequenze, indicatori di centralità e di dispersione per gli indicatori del costrutto tecnologia

Cod	Indicatore	1	2	3	4	5	Mediana	Moda	Q1	Q3	IQ
t1	Early adopter	2%	23%	39%	29%	7%	3	3	2	4	2
t2	Tendenze tecnologiche	7%	20%	41%	23%	9%	3	3	2	4	2
t3	Stanchezza mentale	2%	3%	15%	53%	27%	4	4	4	5	1
t4	Peggioramento vita	11%	22%	28%	27%	12%	3	3	2	4	2
t5	Sistema operativo	13%	37%	23%	16%	11%	2	2	2	4	2
t6	Dispositivi non necessari	57%	31%	7%	4%	1%	1	1	1	2	1
t7	Investimento tecnologia	1%	2%	30%	35%	32%	4	4	3	5	2
t8	Fiducia tecnologia	1%	3%	28%	51%	17%	4	4	3	4	1

Dalla tabella si evince che:

- il 75% si definisce un "early adopter", volendo essere tra i primi a provare o usare una nuova tecnologia.
- Una percentuale simile di utenti infatti si dichiara anche attento a seguire le tendenze tecnologiche globali
- L'utilizzo di nuove tecnologie comporta stanchezza solo al 5% degli intervistati. La quasi totalità ritiene che l'utilizzo di nuove tecnologie non produca questo effetto.
- La maggior parte degli intervistati (61%) ritiene che i dispositivi tecnologici peggiorino la vita quotidiana. La restante parte ha riconosciuto, invece, i miglioramenti apportati dalla tecnologia nella vita di tutti i giorni.
- Gli intervistati si sono dichiarati poco d'accordo all'acquisto di dispositivi tecnologicamente più avanzati. Si nota come solo il 27% degli intervistati sia nettamente propenso all'acquisto di dispositivi tecnologicamente più avanzati.
- L'88% del campione si definisce contrario all'acquisto di dispositivi non necessari. Poco più del 4% acquista invece dispositivi solo per il piacere di possederli, senza un reale bisogno.
- All'affermazione "Lo Stato dovrebbe investire in tecnologie per favorire l'attività dei cittadini" il 97% circa ha espresso parere positivo.
- Infine, emerge come solo il 4% del campione riponga poca o nessuna fiducia nella tecnologia.

Analizzando l'andamento relativo a tale sezione si nota come le risposte degli intervistati siano risultate a volte caratterizzate da forte incoerenza. La maggior parte del campione si è rivelato interessato alle tendenze tecnologiche, con la volontà di provare o usare per primi nuove tecnologie. Allo stesso tempo però quasi il 90% si è definito contrario all'acquisto di dispositivi non necessari. Parere quasi univoco sulla necessità da parte dello Stato di dover promuovere investimenti tecnologici nonostante oltre il 60% degli intervistati ritenga che la tecnologia sia responsabile di un peggioramento della vita.

NORME SOCIALI

Analogamente si procede anche per il costrutto relativo alle norme sociali (di carattere generale).

Tabella 6. Frequenze, indicatori di centralità e di dispersione per gli indicatori del costrutto norme sociali

Cod	Indicatore	1	2	3	4	5	Mediana	Moda	Q1	Q3	IQ
sn1	Social network	23%	58%	17%	1%	1%	2	2	2	2	0
sn2	Trend moda	13%	36%	41%	9%	1%	3	3	2	3	1
sn3	Decisioni non in autonomia	10%	33%	40%	16%	1%	3	3	2	3	1
sn4	Fiducia consigli	2%	6%	44%	46%	2%	3	4	3	4	1
sn5	Interesse opinioni	5%	17%	31%	39%	8%	3	4	3	4	1
sn6	Centro attenzione	47%	40%	10%	2%	1%	2	1	1	2	1

Dalla Tabella 6 si evince che:

- Riguardo all'influenza che i social network hanno nei comportamenti e negli stili di vita, più dell'80% degli intervistati si ritiene poco influenzato da quest'ultimi
- Circa l'attenzione ai trend del momento, il parere degli intervistati si è rivelato orientato nettamente sui giudizi *poco d'accordo* e *abbastanza d'accordo*, con percentuali rispettivamente del 35,68% e 41,21%.
- Il 17% del campione si ritiene influenzato dal parere delle persone vicine nel prendere le proprie decisioni. Il 40% è in parte d'accordo lasciandosi, probabilmente, solo in parte influenzare dal parere altrui.
- In merito all'affermazione "*Mi fido dei consigli altrui*", il 48% si è dichiarato molto o fortemente d'accordo. Bassa è la percentuale di coloro che hanno espresso parere negativo (circa l'8%). Il 44% ha scelto il giudizio *abbastanza d'accordo*, influenzati, presumibilmente, dal grado di affetto o rilevanza che nutrono nei confronti della persona che esprime un determinato consiglio.
- Il campione si dichiara comunque interessato all'opinione altrui. Solo il 23% ha sostenuto di avere poco o alcuno interesse in merito al parere espresso da altri.
- *Per nulla d'accordo* e *poco d'accordo* sono stati i giudizi preferiti dall'87% del campione riguardo l'acquisto di oggetti al solo fine di attirare attenzione. Il 10% si è ritenuto relativamente d'accordo. Bassa la percentuale di coloro che ritengono importante tale aspetto, circa il 3%.

L'andamento delle risposte relativamente alla sezione "norme sociali" fa emergere come il campione risulti relativamente attento ai trend del momento, senza però lasciarsi influenzare nelle scelte da ciò che riportano i social network. Le decisioni vengono prese in piena autonomia con circa la metà degli intervistati che ripone fiducia e considerazione nell'opinione altrui.

CONOSCENZA ALIMENTAZIONI E CARATTERISTICHE IMPORTANTI PER L'ACQUISTO DI UN NUOVO VEICOLO

Si è deciso di indagare poi la conoscenza degli intervistati relativamente a differenti tipi di alimentazione. La Figura 52 sintetizza le risposte degli intervistati evidenziando come la quasi totalità abbia dichiarato di non conoscere tutti gli aspetti tecnici delle alimentazioni proposte. Una ridotta percentuale ha dichiarato

di conoscere tutte le caratteristiche tecniche relative a quanto proposto. Prossima allo zero la percentuale di chi ha dichiarato di non essere proprio a conoscenza di tali alimentazioni.

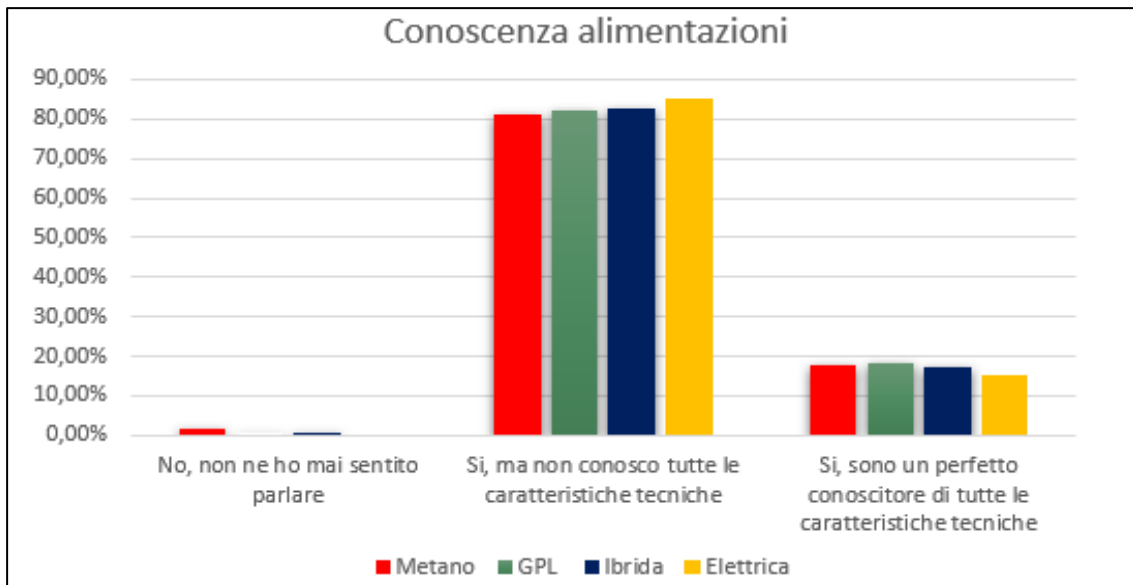


Figura 52 – Conoscenza relativa alle alimentazioni non convenzionali

Immaginando di dover effettuare uno spostamento in ambito urbano, si è chiesto agli intervistati di esprimere la propria preferenza in merito alle alimentazioni proposte. Il 34,67% delle scelte è ricaduto sull'auto elettrica. Percentuali che si attestano attorno al 24% per Ibride e al 17% per il bifuel Metano. Il bifuel GPL è stato scelto dal 14,07% degli intervistati. Basse le percentuali relative alle alimentazioni convenzionali.

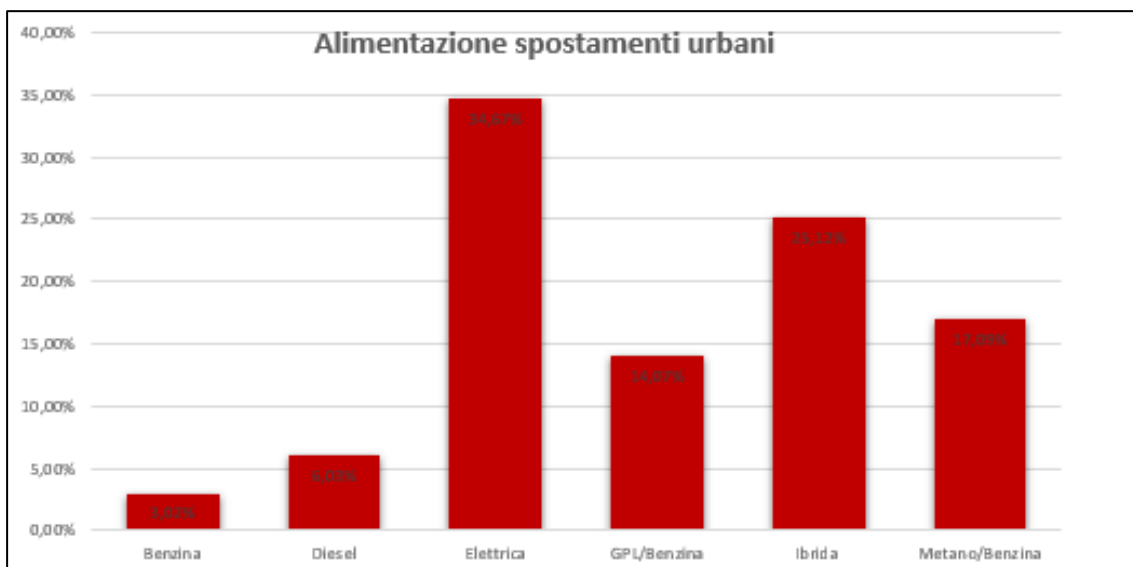


Figura 53 – Ripartizione percentuale relativa alla scelta di utilizzo in ambito urbano

Cambiando scenario ed ipotizzando spostamenti di tipo extraurbano cambiano le scelte degli utenti. Il Diesel diventa l'alimentazione più scelta con una percentuale del 25,63%. A seguire troviamo le alimentazioni di tipo bifuel, GPL e Metano, con percentuali rispettivamente del 24,12% e del 18,09%. Pressoché invariata resta la percentuale di scelta relativa alle auto Ibride mentre solo l'8% degli intervistati prende in considerazione il veicolo elettrico.

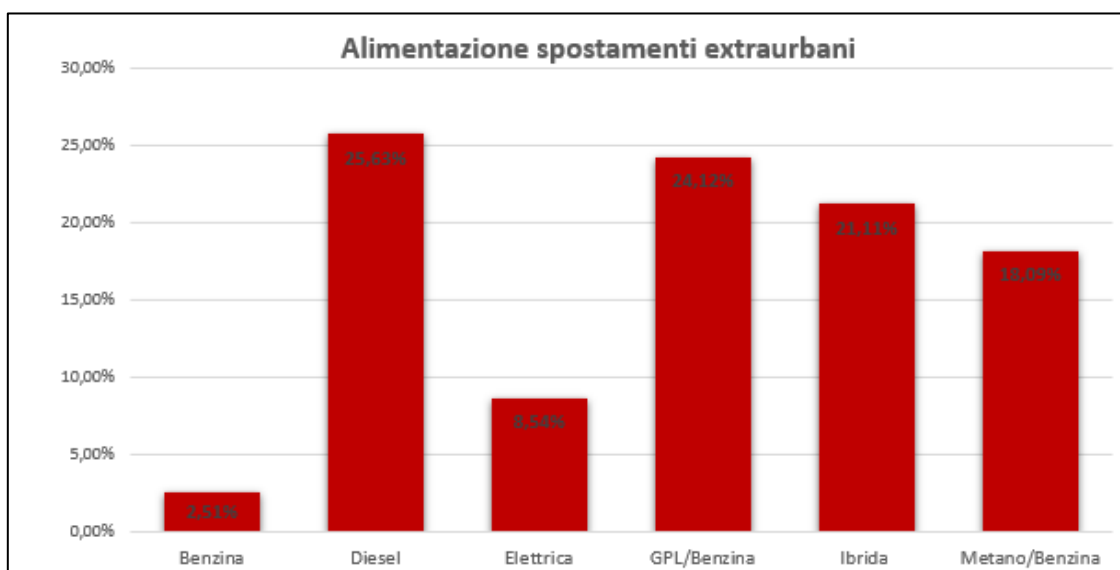


Figura 54 – Ripartizione percentuale relativa alla scelta di utilizzo in ambito extraurbano

Analizzando nel dettaglio quanto riportato in precedenza, si nota come il dover effettuare uno spostamento più lungo ha come effetto quello di far propendere l'utente verso alimentazioni differenti rispetto ad un EV. Ciò è legato all'autonomia limitata delle auto elettriche che viene percepita dagli utenti come fattore limitante.

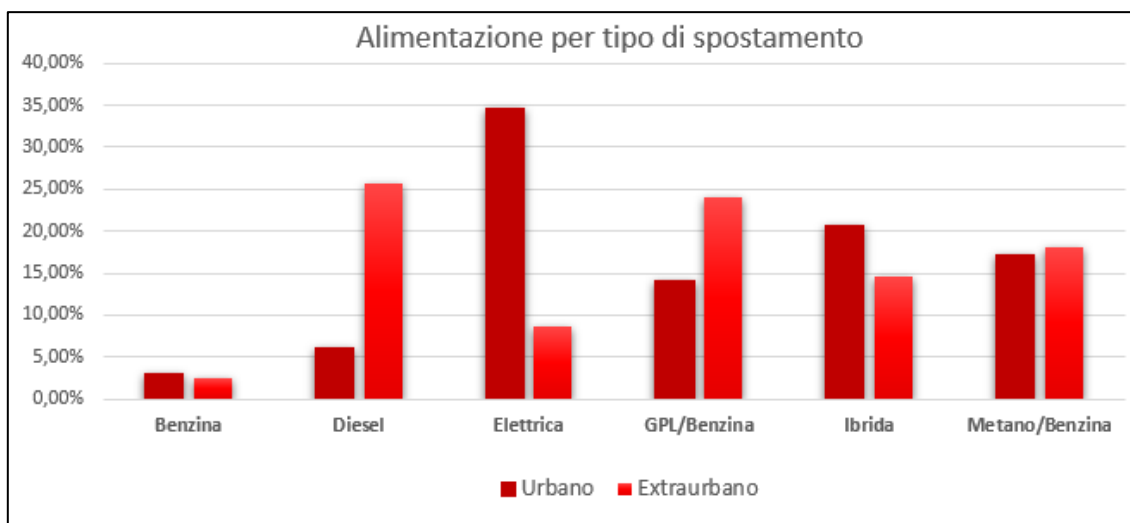


Figura 55 – Confronto tra scelta di utilizzo in ambito urbano ed extraurbano

Si è passati poi ad investigare i fattori ritenuti importanti nella fase di acquisto di un veicolo. La velocità del veicolo è risultata un fattore a cui gli intervistati attribuiscono relativamente importanza. Il 44% ha, infatti ritenuto, tale aspetto abbastanza importante. Il 13% lo ritiene uno dei principali aspetti considerati nell'acquisto di una nuova auto. Poco o per nulla attenti alla velocità di una nuova auto una percentuale di intervistati pari al 43%.

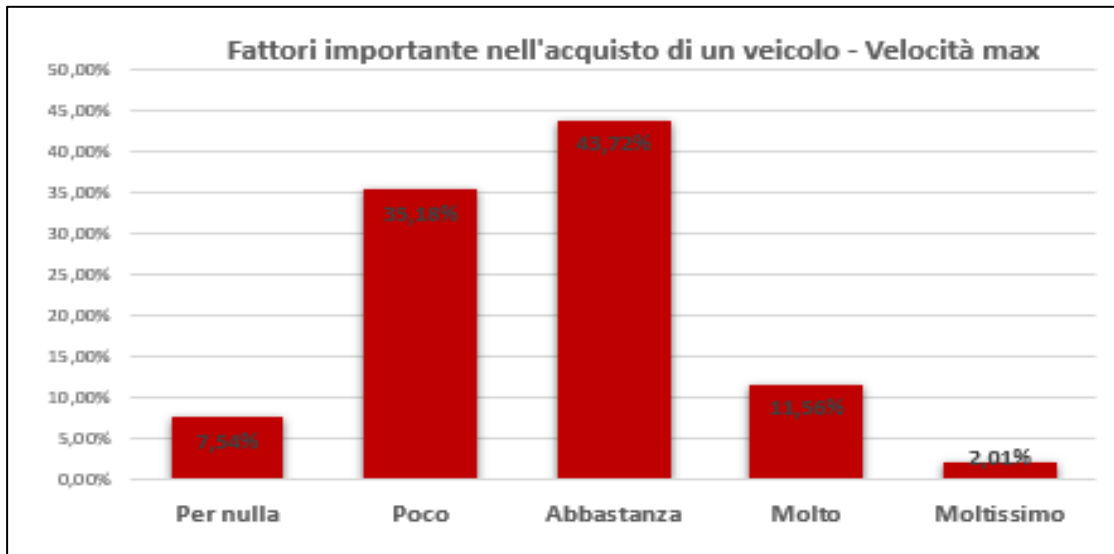


Figura 56 –Fattori importanti per l'acquisto di un veicolo-Velocità max

Andamento simile a quanto mostrato in precedenza per quel che concerne il fattore “*accelerazione*”. Il 41% ha preferito il giudizio “*abbastanza importante*”. Il 14% ritiene questo aspetto importante contrapposto al 42% circa del campione che mostra scarso interesse verso questo fattore.

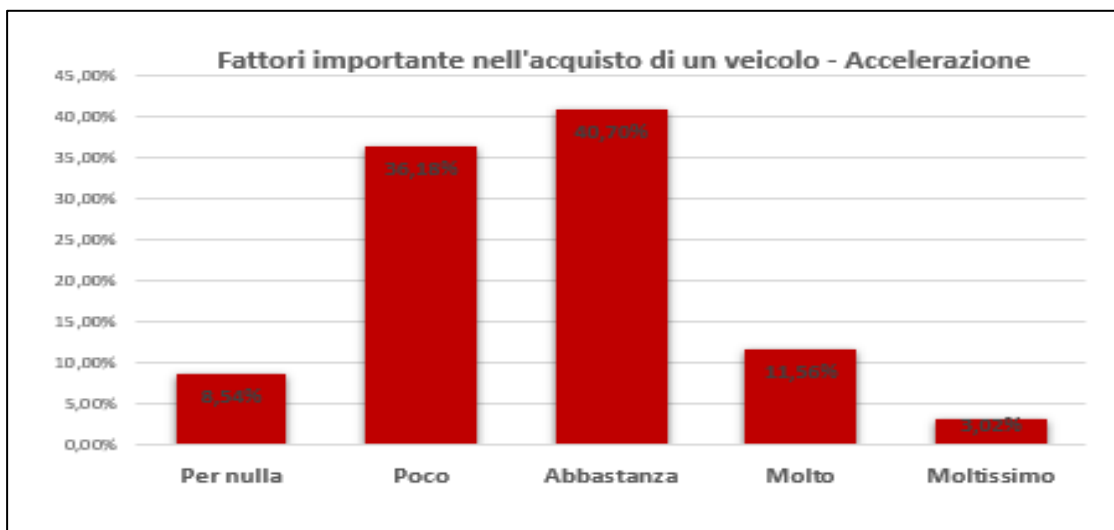


Figura 57 –Fattori importanti per l'acquisto di un veicolo-Accelerazione

Il fattore ‘*consumi*’ costituisce un fattore importante nell’acquisto di un nuovo veicolo. L’ 83% circa degli intervistati si è diviso tra i giudizi “*molto*” e “*moltissimo*”. I restanti considerano questo fattore “*abbastanza*” o “*poco*” importante.

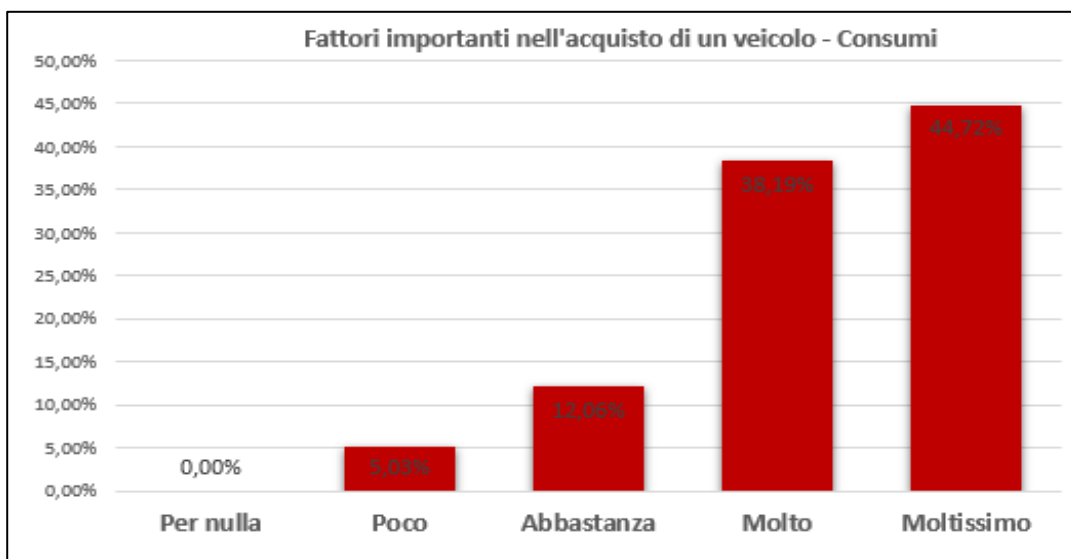


Figura 58 –Fattori importanti per l'acquisto di un veicolo-Consumi

Forte anche l'attenzione verso il fattore "emissioni inquinanti". L'86% circa, si è dichiarato attento a tale aspetto. Solo il 12%, invece, non considera questo aspetto importante.

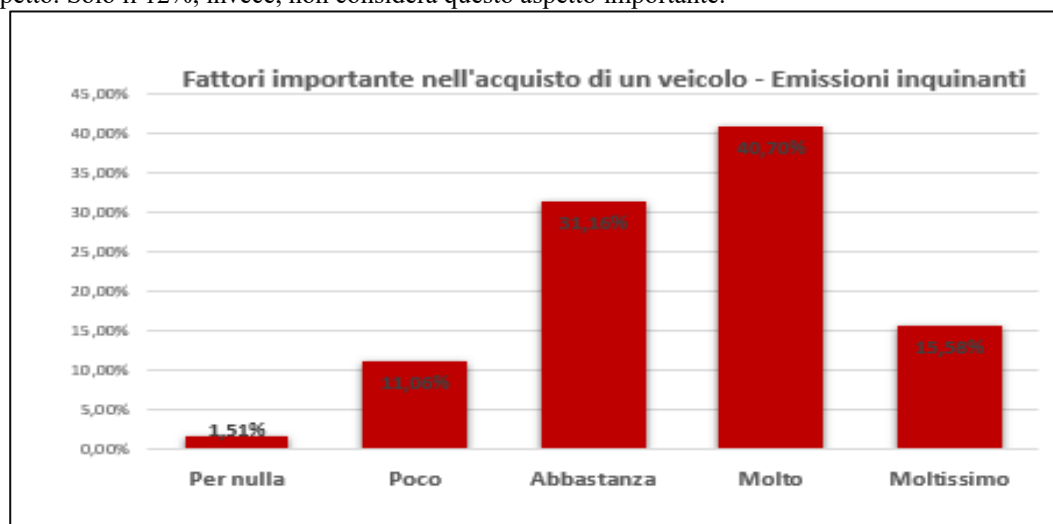


Figura 59 –Fattori importanti per l'acquisto di un veicolo-Emissioni inquinanti

Infine, è stato investigato anche il livello di importanza assunto dalla casa automobilistica nell'acquisto di un veicolo. Oltre il 75% si mostra incline a tale fattore, anche se il 36% circa non lo ritiene elemento completamente fondamentale. La restante aliquota ritiene tale fattore poco importante nella scelta della nuova auto.

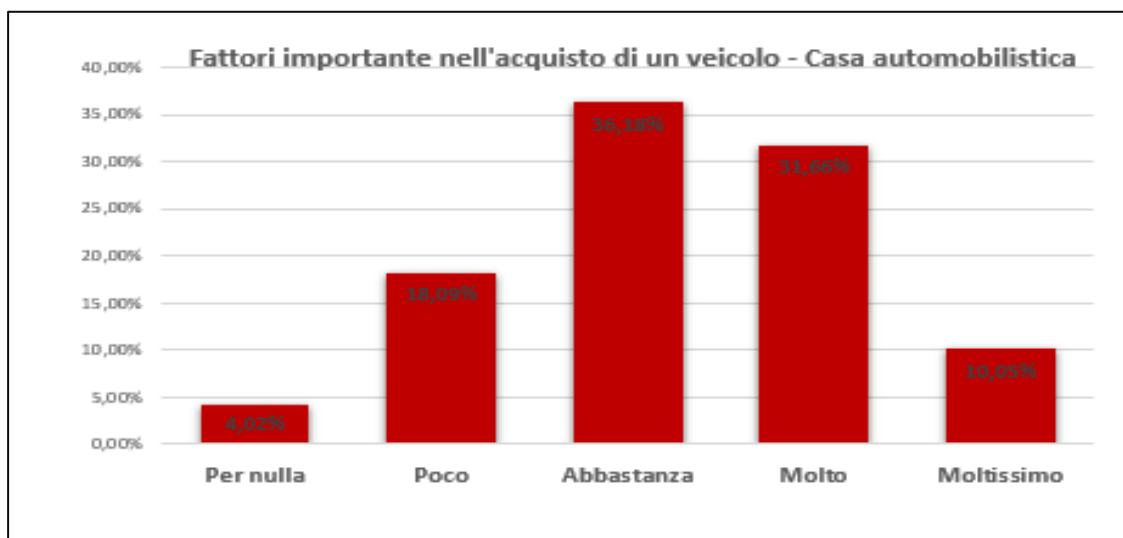


Figura 60 –Fattori importanti per l'acquisto di un veicolo-Casa automobilistica

Il grafico di seguito riportato mostra l'andamento delle risposte degli intervistati (facendo riferimento alle percentuali cumulate del parere abbastanza, molto e moltissimo importante). L'attenzione degli intervistati è rivolta principalmente ai consumi. Tale fattore, infatti, costituisce indirettamente una delle voci di costo. Si nota, inoltre, grande attenzione da parte degli intervistati alle emissioni inquinanti. Questo aspetto può avere una duplice chiave di lettura. In primis l'attenzione rivolta alle problematiche ambientali, i cui effetti sono evidenti e particolarmente pericolosi per la salute dell'uomo; inoltre, le politiche attuate in ambito trasportistico che limitano la circolazione dei veicoli in base alla classificazione ambientale europea.

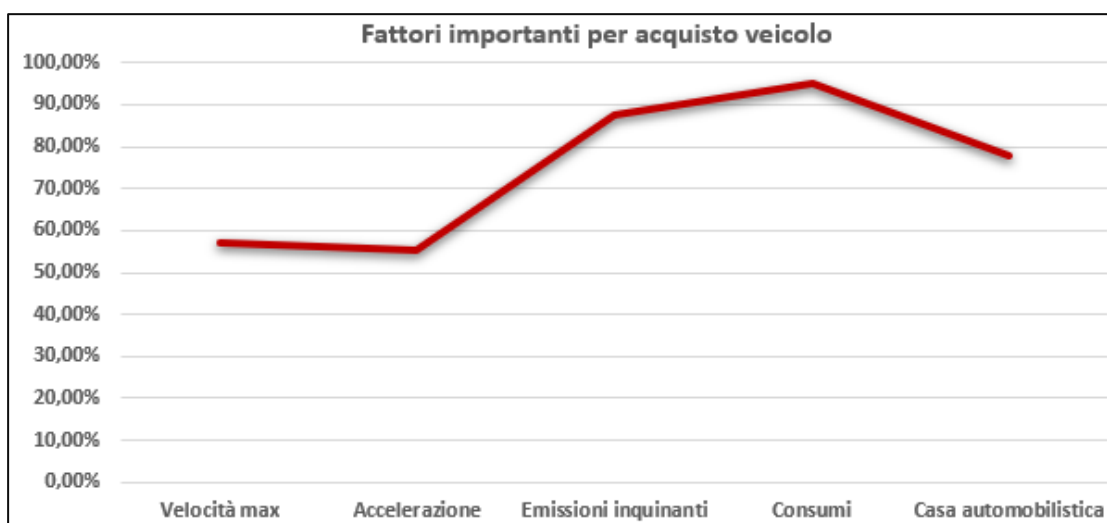


Figura 61 – Andamento dei fattori importanti per l'acquisto di un veicolo

ANALISI INCROCIATE FASE I

Nel presente paragrafo si riportano anche delle analisi descrittive incrociate, volte ad analizzare come le caratteristiche del campione possano o meno determinare una preferenza nella scelta di utilizzo di un'alimentazione piuttosto che di un'altra, prestando maggiore attenzione al contesto urbano.

Ad esempio è emerso che in ambito urbano, le preferenze di utilizzo delle differenti alimentazioni sono parzialmente differenti tra genere maschile e femminile. Il genere femminile predilige una soluzione

elettrica, seguita da una bifuel a metano e poi da un'ibrida, mentre Diesel e GPL viaggiano sulla stessa posizione in classifica. La Benzina non viene proprio presa in considerazione; al contrario il genere maschile propende, quasi parimenti, per una soluzione elettrica o ibrida, seguite poi dalle due soluzioni bifuel e dalle soluzioni convenzionali.

Tabella 7. Analisi incrociata Scelta alimentazione in urbano-Genere

Spostamento urbano - Genere		
	F	M
Benzina	0,00%	3,02%
Diesel	3,02%	3,02%
Elettrica	13,07%	21,61%
GPL/Benzina	3,52%	10,55%
Ibrida	5,03%	20,10%
Metano/Benzina	8,04%	9,05%

Raggruppando, in base all'età, gli utenti in due classi, è stata altresì studiata l'analisi incrociata tra la classe di età e la scelta di utilizzo in ambito urbano. Si evince che per le due classi di età non vi sono preferenze differenti, ma l'ordinamento delle aliquote di scelta rimane invariato. Un'inversione di tale ordinamento, invece, si osserva considerando le scelte in ambito extraurbano. In tal caso, mentre la classe di utenti più giovane presenta una preferenza per le soluzioni Diesel e GPL, la classe più adulta presenta una preferenza per la soluzione ibrida, seguita da quella al metano.

Tabella 8. Analisi incrociata Scelta alimentazione in urbano- Età

Spostamento urbano - Età		
	19-24	25-30
Benzina	3,02%	0,00%
Diesel	5,03%	1,01%
Elettrica	24,62%	10,05%
GPL/Benzina	11,56%	2,51%
Ibrida	19,10%	6,03%
Metano/Benzina	12,56%	4,52%

Tabella 9. Analisi incrociata Scelta alimentazione in extraurbano- Età

Spostamento extraurbano - Età		
	19-24	25-30
Benzina	2,51%	0,00%
Diesel	21,61%	4,02%
Elettrica	6,53%	2,01%
GPL/Benzina	20,10%	4,02%
Ibrida	12,56%	8,54%
Metano/Benzina	12,56%	5,53%

In merito all'alimentazione scelta in ambito urbano, coloro i quali vivono a ridosso della zona centrale hanno preferito in ambito urbano le soluzioni elettrificate (BEV 21,61% e PHEV 12,6%). Percentuali più basse per Metano/Benzina (8,04%) e GPL (6,03%). I residenti nel centro storico, il 15% degli intervistati circa, propende allo stesso modo verso alimentazioni a minor impatto ambientale. Le percentuali relative agli intervistati che vivono in periferia mostrano l'elettrica comunque come alimentazione preferita (anche se la preferenza è meno evidente rispetto a quella che si ha per gli utenti residenti a ridosso della zona centrale), seguita da Ibrida e Metano con percentuali del 7,04%. È comunque interessante notare come le preferenze siano pressappoco le stesse sia per gli utenti che abitano in periferia che per quelli che abitano a ridosso del centro storico; tuttavia il ragionamento legato a queste preferenze potrebbe essere parzialmente differente: gli utenti che abitano a ridosso del centro storico potrebbero preferire le soluzioni

elettrificate perché la zona a ridosso del centro storico è spesso la preferita per l'installazione di colonnine di ricarica pubbliche, mentre quelli che abitano in periferia potrebbero avere tale preferenza per la maggiore disponibilità di spazi privati che consentano la ricarica del veicolo direttamente a casa.

Tabella 10. Analisi incrociata Scelta alimentazione in urbano- Zona di residenza

Spostamento urbano - Zona di residenza			
	Ridosso zona centrale	Centro storico	Periferia
Benzina	1,01%	0,00%	2,01%
Diesel	2,51%	1,51%	2,01%
Elettrica	21,61%	3,52%	9,55%
GPL/Benzina	6,03%	2,51%	5,53%
Ibrida	12,56%	5,53%	7,04%
Metano/Benzina	8,04%	2,01%	7,04%

Il 97,5% degli intervistati ha dichiarato di possedere la patente di guida. L'aspetto su cui focalizzare l'attenzione riguarda il fatto che le pur poche persone non dotate di patente di guida propendano per l'auto elettrica. Questo probabilmente è legato ad una sensibilità verso problematiche ambientali.

Tabella 11. Analisi incrociata Scelta alimentazione in urbano- Possesso patente

Spostamento urbano - Patente di guida		
	No	SI
Benzina	0,00%	3,02%
Diesel	0,00%	6,03%
Elettrica	2,01%	32,66%
GPL/Benzina	0,00%	14,07%
Ibrida	0,00%	25,13%
Metano/Benzina	0,50%	16,58%

Il tipo di parcheggio abituale costituisce un aspetto importante soprattutto in merito alla scelta del tipo di alimentazione. La Tabella 12 mostra come chi possiede un box indipendente o vive in un parco residenziale, quindi dotato di parcheggio privato, sia più propenso all'acquisto di un veicolo elettrico; al contrario chi parcheggia abitualmente in strada ha una propensione maggiore verso la soluzione ibrida che richiede di essere caricata, ma può non esserlo, nel caso in cui, per un motivo o per un altro, tale operazione non sia possibile.

Tabella 12. Analisi incrociata Scelta alimentazione in urbano- Parcheggio abituale

Spostamento urbano - Parcheggio abituale				
	Box indipendente	Garage a pagamento	Parco residenziale	Strada
Benzina	2,51%	0,00%	0,50%	0,00%
Diesel	3,52%	0,50%	1,01%	1,01%
Elettrica	17,59%	0,00%	13,07%	4,02%
GPL/Benzina	9,05%	0,00%	2,51%	2,51%
Ibrida	14,57%	1,01%	3,02%	6,03%
Metano/Benzina	9,55%	0,50%	4,52%	2,51%

Per quel che concerne il tipo di alimentazione posseduta, la maggior parte degli intervistati possiede un'auto di tipo convenzionale (65,33%). Di questi il 38% opta per un'alimentazione elettrica o ibrida. Il 18% preferisce un'alimentazione bifuel mentre solo l'8% degli intervistati si mantiene fedele all'alimentazione posseduta. Gli intervistati che possiedono almeno un'auto bifuel preferiscono un'auto elettrica, seguita poi parimenti da soluzioni bifuel o ibrida. Come si evince tra quelli che possiedono almeno una bifuel le soluzioni convenzionali sono poco o per nulla prese in considerazione.

Tabella 13. Analisi incrociata Scelta alimentazione in urbano- Alimentazione posseduta

Spostamento urbano - Alimentazione posseduta			
	Convenzionale	Almeno una bifuel	Almeno un'ibrida
Benzina	2,51%	0,50%	0,00%
Diesel	5,53%	0,50%	0,00%
Elettrica	20,60%	13,57%	0,50%
GPL/Benzina	8,04%	6,03%	0,00%
Ibrida	18,09%	6,53%	0,00%
Metano/Benzina	10,55%	6,53%	0,00%

In merito alle modalità con cui gli intervistati effettuano i propri spostamenti sistematici (raggiungere l'università o il posto di lavoro), le soluzioni maggiormente utilizzate sono l'autobus e l'auto. Tale informazione è stata incrociata con quella relativa alla scelta di utilizzo di una data alimentazione in ambito urbano ed extraurbano. In ambito urbano le alimentazioni maggiormente scelte sono elettrica ed ibrida. Nel caso di chi utilizza l'autobus per i propri spostamenti sistematici si nota però una propensione maggiore verso il bifuel. Tale aspetto può essere legato ai vantaggi in termini di consumi di tali alimentazioni.

Nel caso di spostamento extraurbano chi usa maggiormente l'autobus predilige un'alimentazione Diesel. Per coloro che raggiungono l'università o il posto di lavoro in auto la scelta è ricaduta principalmente sull'alimentazione bifuel GPL/Benzina.

Tabella 14. Analisi incrociata Scelta alimentazione in urbano- Modalità di trasporto casa-studio

Spostamento urbano - Come raggiungi l'università				
	Auto	Bus	Carpool	Piedi
Benzina	1,01%	2,01%	0,00%	0,00%
Diesel	2,01%	4,02%	0,00%	0,00%
Elettrica	15,58%	17,59%	0,50%	1,01%
GPL/Benzina	4,02%	10,05%	0,00%	0,00%
Ibrida	11,06%	13,57%	0,00%	0,50%
Metano/Benzina	5,03%	11,06%	0,50%	0,50%

Tabella 15. Analisi incrociata Scelta alimentazione in extraurbano- Modalità di trasporto casa-studio

Spostamento extraurbano - Come raggiungi l'università				
	Auto	Bus	Carpool	Piedi
Benzina	1,01%	1,51%	0,00%	0,00%
Diesel	9,55%	16,08%	0,00%	0,00%
Elettrica	5,53%	2,01%	0,00%	1,01%
GPL/Benzina	11,06%	13,07%	0,00%	0,00%
Ibrida	8,54%	11,56%	0,50%	0,50%
Metano/Benzina	3,02%	14,07%	0,50%	0,50%

Relativamente all'incrocio con le distanze mediamente percorse in auto ogni giorno, ricordando che in ambito urbano il veicolo elettrico rappresenta l'alimentazione più scelta, si nota che la percentuale maggiore di utenti che effettuano questa scelta (12,56%) è relativa alla fetta di intervistati che percorre una distanza tra i 10-30km. Si nota come all'aumentare della distanza percorsa ogni giorno, le soluzioni non elettrificate si fanno maggiore spazio.

Tabella 16. Analisi incrociata Scelta alimentazione in urbano- km mediamente percorsi al giorno

Spostamento urbano - Km mediamente percorsi al giorno					
	0 km	fino a 10 km	tra 10 e 30 km	tra 30 e 50 km	più di 50 km
Benzina	0,50%	0,50%	0,50%	1,01%	0,50%
Diesel	0,00%	2,01%	3,02%	0,50%	0,50%
Elettrica	6,03%	10,55%	12,56%	5,03%	0,50%
GPL/Benzina	1,51%	4,02%	4,02%	3,52%	1,01%
Ibrida	4,52%	6,53%	9,55%	3,02%	1,51%
Metano/Benzina	2,01%	4,52%	8,54%	2,01%	0,00%

Relativamente alla conoscenza delle alimentazioni, si riportano di seguito le analisi incrociate effettuate con la scelta del tipo di alimentazione.

Per quel che riguarda l'alimentazione Metano l'80% degli intervistati ha dichiarato di non conoscere tutte le caratteristiche tecniche di tale alimentazione. Questi utenti preferiscono un'alimentazione elettrica e a seguire ibrida; la scelta dell'alimentazione investigata ricade sulla soluzione al metano solo in terza posizione. Al contrario, la scelta del metano è la seconda soluzione preferita per chi si dichiara un perfetto conoscitore di questa tipologia di automobile. Nel caso di spostamento extraurbano le auto alimentate a Diesel e a Gpl rappresentano le alternative più scelte. Si mantiene pressoché invariata la percentuale di coloro che scelgono l'alimentazione Metano/Benzina.

Chi ha dichiarato di conoscere tutte le caratteristiche tecniche (17,59%) in tale fase si mostra propenso alla scelta di un'auto elettrica. Circa il 20% di tali intervistati continua a propendere per un'auto alimentata a Metano.

Tabella 17. Analisi incrociata Scelta alimentazione in urbano- Conoscenza alimentazione Metano

Spostamento urbano - Conoscenza alimentazioni			
METANO	Non ne ho mai sentito parlare	Non conosco tutte le caratteristiche tecniche	Sono un perfetto conoscitore delle
Benzina	0,00%	1,51%	1,51%
Diesel	0,50%	5,03%	0,50%
Elettrica	0,00%	29,15%	5,53%
GPL/Benzina	0,50%	10,55%	3,02%
Ibrida	0,50%	21,61%	3,02%
Metano/Benzina	0,00%	13,07%	4,02%

Tabella 18. Analisi incrociata Scelta alimentazione in extraurbano- Conoscenza alimentazione Metano

Spostamento extraurbano - Conoscenza alimentazioni			
METANO	Non ne ho mai sentito parlare	Non conosco tutte le caratteristiche tecniche	Sono un perfetto conoscitore delle
Benzina	0,00%	2,01%	0,50%
Diesel	0,50%	21,11%	4,02%
Elettrica	0,00%	7,04%	1,51%
GPL/Benzina	0,50%	19,10%	4,52%
Ibrida	0,50%	18,09%	2,51%
Metano/Benzina	0,00%	13,57%	4,52%

Passando alla conoscenza della auto GPL, la maggior parte degli intervistati, anche in questo caso, dichiara di non conoscere tutte le caratteristiche tecniche. Per tali intervistati si nota una certa propensione alla scelta di alimentazioni sostenibili quali elettrica ed ibrida.

Quello che è interessante notare è che, per chi risulta un perfetto conoscitore di questa tipologia di veicolo, la soluzione GPL è la seconda preferita, mentre per chi non ha una conoscenza di tutte le caratteristiche tecniche, questa soluzione è la quarta preferita. In ambito extraurbano, invece la soluzione GPL è la preferita per chi è un perfetto conoscitore delle sue caratteristiche tecniche, ma detiene comunque il secondo posto (parimenti con l'ibrida) per coloro i quali non hanno perfetta conoscenza delle caratteristiche tecniche.

Tabella 19. Analisi incrociata Scelta alimentazione in urbano- Conoscenza alimentazione GPL

Spostamento urbano - Conoscenza alimentazioni			
GPL	Non ne ho mai sentito parlare	Non conosco tutte le caratteristiche tecniche	Sono un perfetto conoscitore delle
Benzina	0,00%	1,51%	1,51%
Diesel	0,00%	5,53%	0,50%
Elettrica	0,00%	27,64%	7,04%
GPL/Benzina	0,00%	9,55%	4,52%
Ibrida	0,00%	21,61%	3,52%
Metano/Benzina	0,00%	16,08%	1,01%

Tabella 20. Analisi incrociata Scelta alimentazione in extraurbano- Conoscenza alimentazione GPL

Spostamento extraurbano - Conoscenza alimentazioni			
GPL	Non ne ho mai sentito parlare	Non conosco tutte le caratteristiche	Sono un perfetto conoscitore delle
Benzina	0,00%	2,01%	0,50%
Diesel	0,00%	22,11%	3,52%
Elettrica	0,00%	7,54%	1,01%
GPL/Benzina	0,00%	17,09%	7,04%
Ibrida	0,00%	17,59%	3,52%
Metano/Benzina	0,00%	15,58%	2,51%

Passando ad analizzare la conoscenza delle auto Ibride si nota che sia in ambito urbano che extraurbano la soluzione ibrida risulta essere la seconda preferita.

Tabella 21. Analisi incrociata Scelta alimentazione in urbano- Conoscenza alimentazione Ibrida

Spostamento urbano - Conoscenza alimentazioni			
IBRIDA	Non ne ho mai sentito parlare	Non conosco tutte le caratteristiche tecniche	Sono un perfetto conoscitore delle
Benzina	0,00%	1,01%	2,01%
Diesel	0,00%	5,03%	1,01%
Elettrica	0,50%	26,63%	7,54%
GPL/Benzina	0,00%	12,56%	1,51%
Ibrida	0,00%	22,11%	3,02%
Metano/Benzina	0,00%	15,08%	2,01%

Tabella 22. Analisi incrociata Scelta alimentazione in extraurbano- Conoscenza alimentazione Ibrida

Spostamento extraurbano - Conoscenza alimentazioni			
IBRIDA	Non ne ho mai sentito parlare	Non conosco tutte le caratteristiche	Sono un perfetto conoscitore delle
Benzina	0,00%	1,51%	1,01%
Diesel	0,00%	21,61%	4,02%
Elettrica	0,00%	7,04%	1,51%
GPL/Benzina	0,00%	21,11%	3,02%
Ibrida	0,00%	17,59%	3,52%
Metano/Benzina	0,50%	13,57%	4,02%

Infine, passando ad analizzare la conoscenza delle auto Elettriche si nota in ambito urbano la soluzione elettrica risulta la preferita sia per chi ha una parziale conoscenza, sia per chi ne ha solo una parte di essa. La soluzione ibrida risulta essere la seconda preferita. Ovviamente queste preferenze non sono più valide se si considera la scelta in ambito extraurbano, dove a prescindere dalle conoscenze possedute, la soluzione elettrica non risulta essere più la preferita.

Tabella 23. Analisi incrociata Scelta alimentazione in urbano- Conoscenza alimentazione Elettrica

Spostamento urbano - Conoscenza alimentazioni			
ELETTRICA	Non ne ho mai sentito parlare	Non conosco tutte le caratteristiche tecniche	Sono un perfetto conoscitore delle
Benzina	0,00%	1,01%	2,01%
Diesel	0,00%	5,03%	1,01%
Elettrica	0,00%	27,64%	7,04%
GPL/Benzina	0,00%	13,07%	1,01%
Ibrida	0,00%	22,61%	2,51%
Metano/Benzina	0,00%	15,58%	1,51%

Tabella 24. Analisi incrociata Scelta alimentazione in extraurbano- Conoscenza alimentazione Elettrica

Spostamento extraurbano - Conoscenza alimentazioni			
ELETTRICA	Non ne ho mai sentito parlare	Non conosco tutte le caratteristiche	Sono un perfetto conoscitore delle
Benzina	0,00%	1,51%	1,01%
Diesel	0,00%	22,11%	3,52%
Elettrica	0,00%	6,03%	2,51%
GPL/Benzina	0,00%	21,61%	2,51%
Ibrida	0,00%	18,09%	3,02%
Metano/Benzina	0,00%	15,58%	2,51%

L'analisi incrociata è stata svolta anche considerando alcuni fattori presi in considerazione quando si analizza l'acquisto di una nuova autovettura; in particolare, tra i diversi fattori, quello che si ritiene potesse giocare il maggior ruolo nella scelta del veicolo è rappresentato dall'emissione di inquinanti

L'attenzione verso le emissioni inquinanti dovrebbe manifestarsi con una scelta rivolta, verso le alimentazioni elettrificate. In particolare, si nota come per coloro i quali hanno dichiarato di essere attenti alle emissioni di inquinanti, in ambito urbano la scelta ricade sull'alimentazione elettrica; al contrario, per chi si dice poco interessato la soluzione elettrica risulta scelta parimenti rispetto alla soluzione ibrida e bifuel a metano. Alcuni intervistati mostrano risposte contrastanti. Pur dichiarando attenzione verso le emissioni optano per un'auto alimentata a Diesel, i cui impatti sono noti.

Spostandoci in ambito extraurbano, è interessante notare che le preferenze di chi si era detto abbastanza attento alle emissioni di inquinanti e preferiva l'utilizzo dell'elettrico in ambito urbano, si spostano verso le soluzioni Diesel e GPL, mentre, per chi si era detto molto interessato, oltre a diesel e GPL, anche la soluzione Ibrida comincia ad essere una valida alternativa; Per quelli particolarmente attenti la soluzione ibrida raccoglie la stessa aliquota della soluzione Diesel.

Tabella 25. Analisi incrociata Scelta alimentazione in urbano- Emissioni inquinanti

Spostamento urbano -Emissioni inquinanti					
	Per nulla	Poco	Abbastanza	Molto	Moltissimo
Benzina	0,00%	0,50%	2,51%	0,00%	0,00%
Diesel	0,00%	0,50%	1,51%	3,02%	1,01%
Elettrica	0,00%	3,02%	11,56%	13,07%	7,04%
GPL/Benzina	1,01%	1,01%	4,52%	5,53%	2,01%
Ibrida	0,00%	3,02%	7,54%	3,52%	0,50%
Metano/Benzina	0,50%	3,02%	3,52%	7,54%	2,51%

Tabella 26. Analisi incrociata Scelta alimentazione in extraurbano- Emissioni inquinanti

Spostamento extraurbano -Emissioni inquinanti					
	Per nulla	Poco	Abbastanza	Molto	Moltissimo
Benzina	0,00%	1,01%	1,51%	0,00%	0,00%
Diesel	0,00%	2,51%	9,05%	10,55%	3,52%
Elettrica	0,50%	1,01%	1,51%	3,02%	2,51%
GPL/Benzina	1,01%	1,01%	10,05%	9,05%	3,02%
Ibrida	0,00%	2,01%	5,02%	10,56%	3,52%
Metano/Benzina	0,00%	3,52%	4,02%	7,54%	3,02%

È risultato altresì interessante notare la distribuzione delle preferenze di utilizzo in funzione dell'importanza attribuita alla casa automobilistica; come si evince, in ambito urbano, la soluzione elettrica è molto più preferita rispetto alle altre soluzioni per chi si è detto poco interessato a tale fattore, rispetto a chi, invece, ha dichiarato un peso maggiore alla casa automobilistica.

Tabella 27. Analisi incrociata Scelta alimentazione in extraurbano- Casa automobilistica

	Spostamento urbano -Casa automobilistica				
	Per nulla	Poco	Abbastanza	Molto	Moltissimo
Benzina	0,00%	0,50%	0,50%	0,50%	1,51%
Diesel	0,50%	1,51%	2,01%	1,51%	0,50%
Elettrica	1,51%	7,54%	12,56%	10,05%	3,02%
GPL/Benzina	1,51%	1,01%	6,03%	4,02%	1,51%
Ibrida	0,00%	3,52%	9,04%	10,05%	2,51%
Metano/Benzina	0,50%	4,02%	6,03%	5,53%	1,01%

5.3.1.2 FASE III

Per quel che concerne la Fase III, le analisi hanno innanzitutto riguardato gli scenari di scelta proposti. In particolare, si sono analizzati nel dettaglio gli scenari 1 e 2 e quelli 7 e 8 che rappresentano, rispettivamente, le condizioni più e meno favorevoli in termini di costo d'acquisto di un veicolo elettrico.

Nel dettaglio, si ricorda:

- Scenario 1: ricarica possibile ovunque; costo del veicolo elettrico pari al 20% rispetto all'alimentazione a benzina;
- Scenario 2: ricarica possibile solo in strada; costo del veicolo elettrico pari al 20% rispetto all'alimentazione a benzina;
- Scenario 7: ricarica possibile ovunque; costo del veicolo elettrico pari al 50% rispetto all'alimentazione a benzina;
- Scenario 8: ricarica possibile solo in strada; costo del veicolo elettrico pari al 50% rispetto all'alimentazione a benzina.

Innanzitutto è interessante notare l'incidenza delle postazioni di ricarica sulla scelta di un veicolo elettrico, confrontando le aliquote relative alla scelta di acquisto nello scenario 1 con quelle che si hanno nello scenario 2.

Nello scenario 1, che considera la possibilità di ricaricare il veicolo elettrico (o ibrido), oltre il 56% degli intervistati propende verso un veicolo EV. Percentuali molto più basse caratterizzano invece la scelta di alimentazioni convenzionali, quali diesel e benzina.

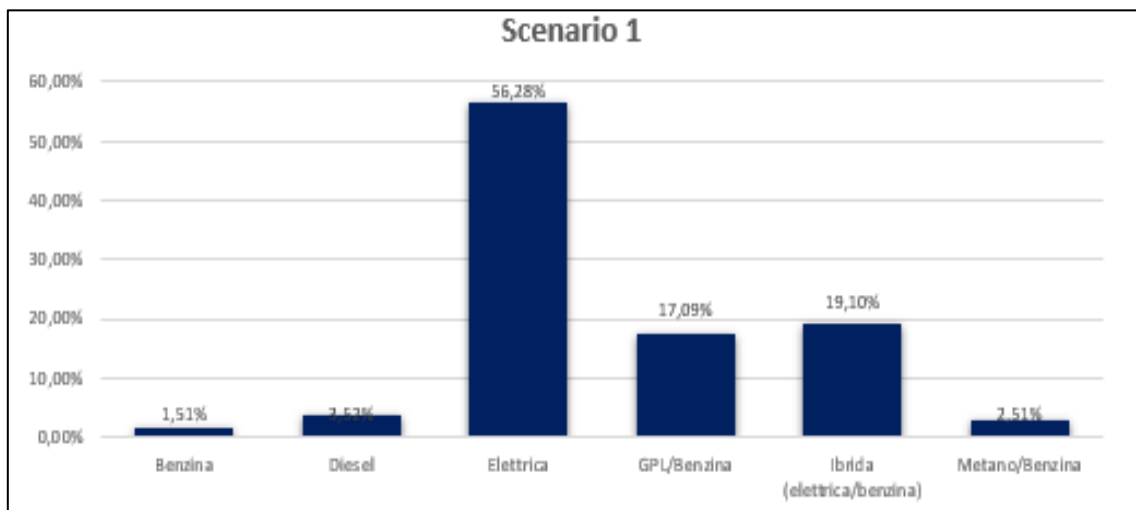


Figura 62 – Aliquote relative alla scelta di acquisto - Scenario 1

Invece, nello scenario 2, in cui si considera la possibilità di ricaricare esclusivamente in strada, le ripartizioni sono ben diverse. In questo caso, a parità di costo, infatti, solo il 20% degli intervistati sceglie l'auto elettrica mentre la maggior parte del campione preferisce un'auto ibrida (30%) o un'auto bifuel GPL/Benzina, con una percentuale di circa il 33%.

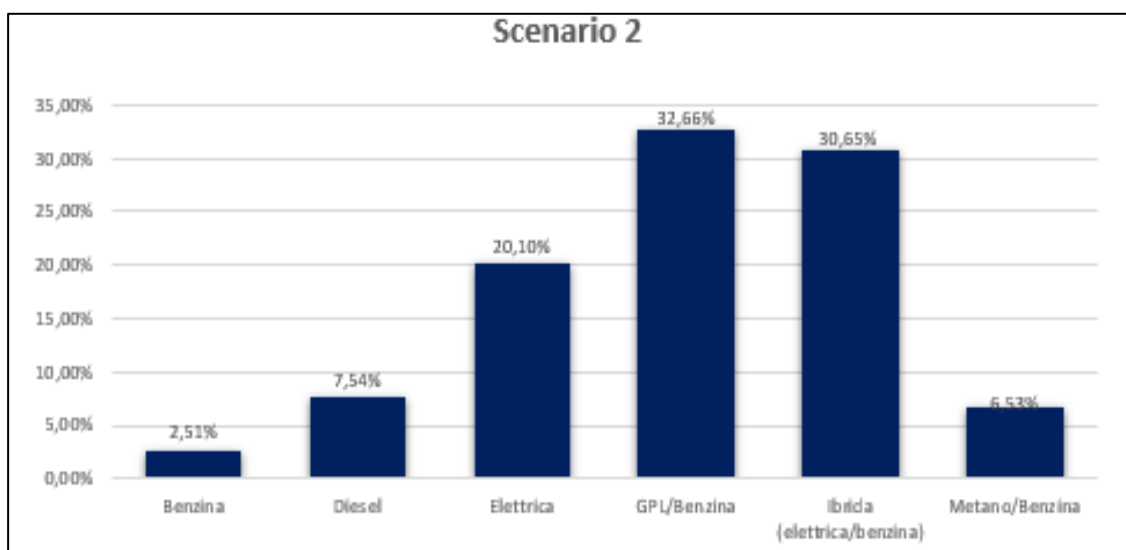


Figura 63 – Aliquote relative alla scelta di acquisto - Scenario 2

Anche il costo di acquisto di un veicolo elettrico incide notevolmente sulla scelta di acquisto; questo aspetto è più chiaro se le ripartizioni dello scenario 1 vengono confrontate con quelle dello scenario 7. Fermo restando la possibilità di caricare un veicolo elettrico ovunque, un aumento del costo determina una diminuzione della scelta di tale soluzione dal 56% al 28%, a favore soprattutto delle soluzioni GPL ed Ibrida.

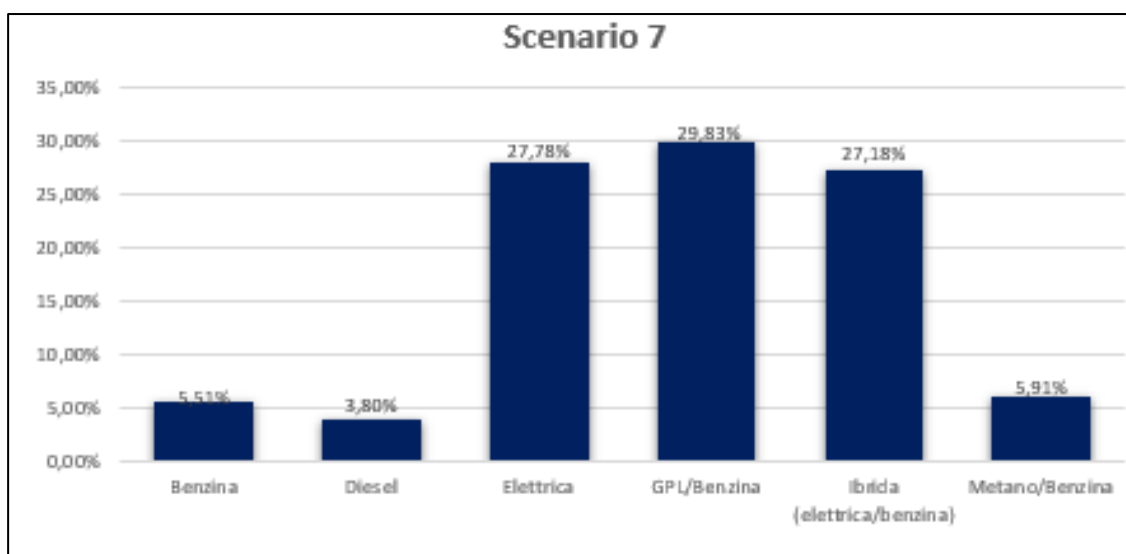


Figura 64 – Aliquote relative alla scelta di acquisto - Scenario 7

La stessa diminuzione, sebbene in maniera meno netta, si osserva confrontando le aliquote dello scenario 2 con quelle dello scenario 8; in tal caso si osserva ancora una diminuzione della scelta della soluzione EV (dal 20% al 17%) che però è meno accentuata, perché l'impossibilità di ricaricare il veicolo elettrico ovunque costituisce già di per sé un fattore molto limitante alla scelta di acquisto del veicolo elettrico.

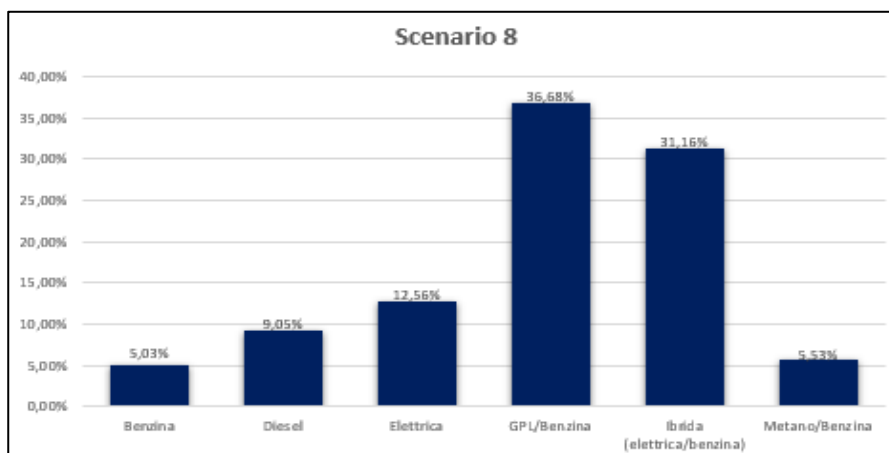


Figura 65 – Aliquote relative alla scelta di acquisto - Scenario 8

Quanto precedentemente riportato mostra come, nell'effettuare la scelta sul tipo di alimentazione, i fattori che incidono maggiormente sono il costo d'acquisto e le differenti condizioni relative alla ricarica. Le immagini che seguono riassumono i confronti tra i diversi scenari.

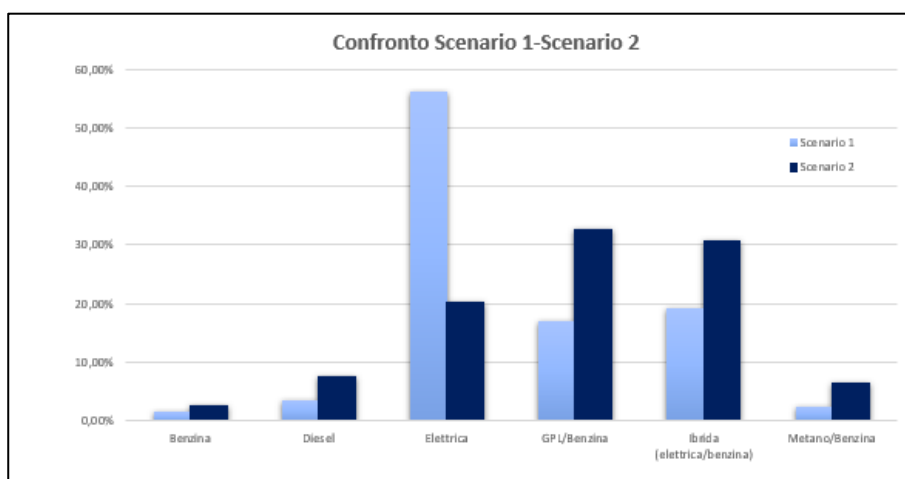


Figura 66 – Aliquote relative alla scelta di acquisto – Confronto scenari 1 e 2 (variazione possibilità di ricarica al prezzo più basso)

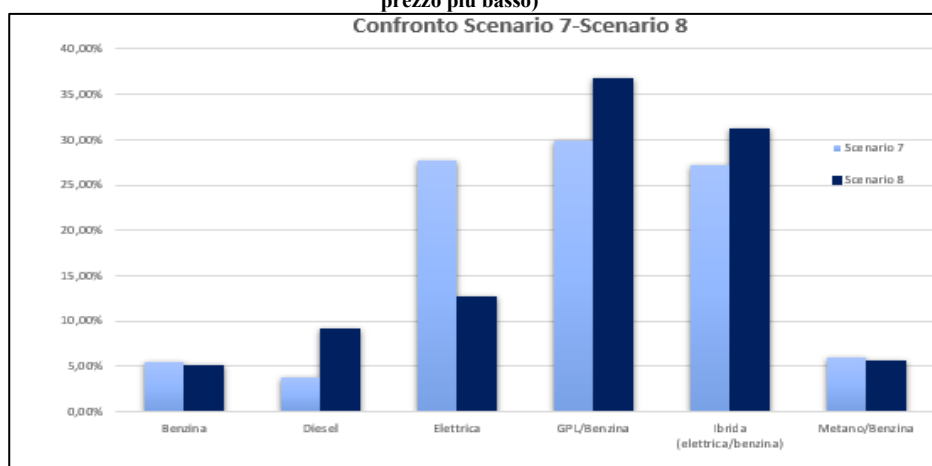


Figura 67 – Aliquote relative alla scelta di acquisto – Confronto scenari 7 e 8 (variazione possibilità di ricarica al prezzo più alto)

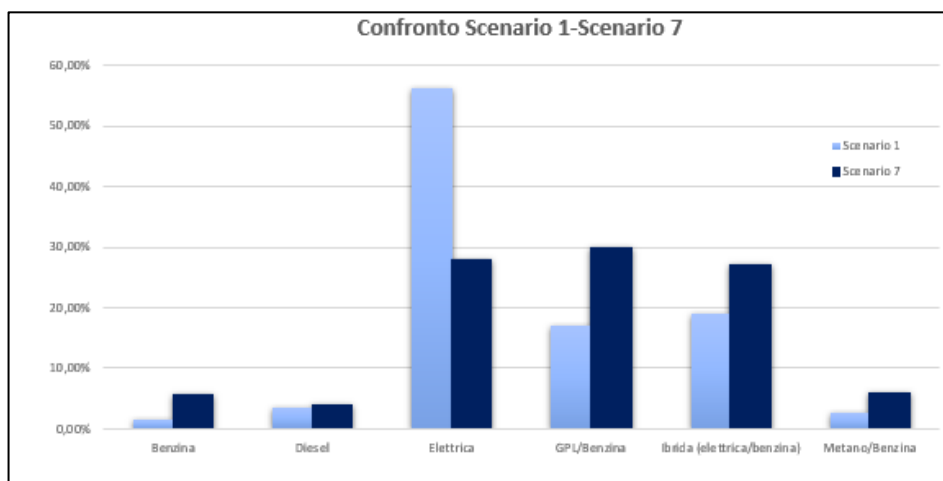


Figura 68 – Aliquote relative alla scelta di acquisto – Confronto scenari 1 e 7 (variazioni di costo con possibilità di ricaricare ovunque)

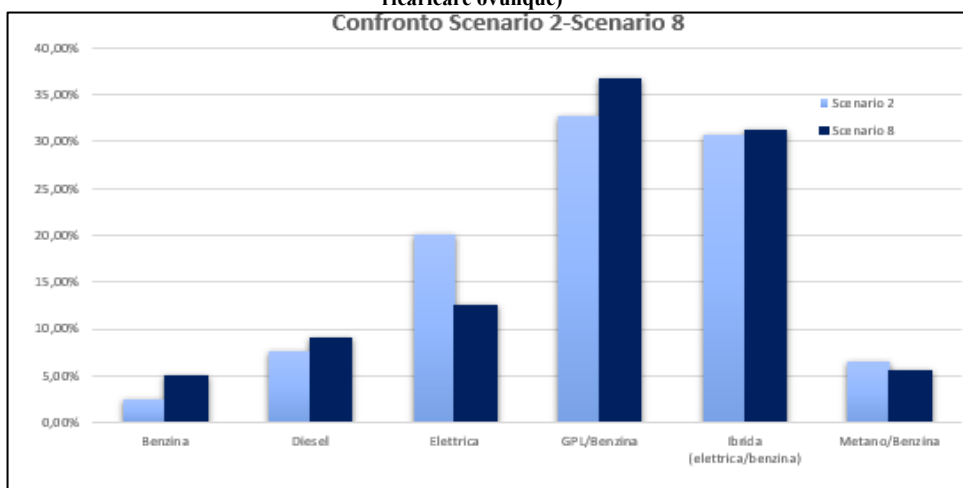


Figura 69 – Aliquote relative alla scelta di acquisto – Confronto scenari 2 e 8 (variazioni di costo con possibilità di ricaricare solo su strada)

Emerge, da quanto appena riportato, come laddove le condizioni per l’acquisto di un veicolo elettrico risultino sfavorevoli, le scelte degli intervistati propendano significativamente verso l’alimentazione GPL. Ciò è sicuramente legato ai costi e ai consumi più bassi rispetto a quelle alimentazioni definite “convenzionali”, quali Benzina e Diesel. Va, però, sottolineato come tale scelta sia tutt’altro che rivolta verso l’ambiente.

Di seguito si riportano le principali statistiche descrittive per i tratti postulati dalla teoria del comportamento pianificato, nonché per i fattori attitudinali rappresentativi della percezione dei vantaggi e degli svantaggi dei veicoli elettrici.

ATTITUDINI VERSO I VEICOLI ELETTRICI

La tabella che segue riassume, per ciascun indicatore, la ripartizione tra le diverse categorie, nonché riporta la mediana, la moda e l'intervallo interquartile. Si ricorda che il riferimento tra ciascun codice e l'indicatore è riportato in appendice B (Tabella 88).

Tabella 28. Frequenze, indicatori di centralità e di dispersione per gli indicatori del costruito attitudine verso i veicoli elettrici

Cod.	Indicatore	1	2	3	4	5	Mediana	Moda	Q1	Q3	IQ
Att1	EV vantaggiosi ambiente	0%	3%	20%	33%	44%	4	5	4	5	1
Att2	Tecnologia EV	2%	8%	33%	39%	18%	4	4	3	4	1
Att3	Fenomeno temporaneo	1%	1%	4%	52%	42%	4	4	4	5	1
Att4	Attitudine EV	1%	8%	33%	41%	17%	4	4	3	4	1
Att5	Guida EV	2%	1%	5%	38%	54%	5	5	4	5	1

Dalla tabella si evince quanto segue:

- oltre il 70% degli intervistati ritiene che i veicoli elettrici possano essere vantaggiosi per l'ambiente
- Uno degli aspetti che caratterizza i veicoli elettrici è la dotazione tecnologica. Tali veicoli sono infatti dotati di avanzati sistemi che consentono al guidatore un monitoraggio continuo dei parametri di marcia e la possibilità di modificare le performance degli stessi. Questo aspetto è risultato in parte significativo anche per il campione intervistato. Una percentuale del 57% circa si è ritenuta affascinata dall'avanzato livello di tecnologia di cui sono dotati tali veicoli. La restante parte, invece, si è dichiarata poco o relativamente interessata a tale aspetto.
- Relativamente allo scetticismo verso i veicoli elettrici, il 94% degli intervistati ritiene che questi veicoli non costituirà affatto un fenomeno temporaneo, mostrando un atteggiamento positivo rispetto ad un tipo di alimentazione in continuo sviluppo e diffusione.
- In generale il 91% degli utenti dichiara comunque di avere un atteggiamento positivo nei confronti dei veicoli elettrici.
- Solo il 3% degli utenti ha dichiarato che non apprezza o non apprezzerrebbe guidare un veicolo elettrico; il 5% si è dimostrato abbastanza interessato a questa esperienza, mentre la restante crede che apprezzerrebbe o apprezzerà questa esperienza.

NORME SOGGETTIVE

Analogamente a quanto fatto per il costrutto relativo all'attitudine verso gli EV, si procede anche per il costrutto relativo alle norme soggettive

Tabella 29. Frequenze, indicatori di centralità e di dispersione per gli indicatori del costrutto Norme Soggettive

Cod	Indicatore										
		1	2	3	4	5	Mediana	Moda	Q1	Q3	IQ
SN1	Percezione società	1%	8%	33%	51%	7%	4	4	3	4	1
SN2	Attrarre attenzione	40%	38%	18%	3%	1%	2	1	1	2	1
SN3	Giudizio persone che frequento	0%	0%	1%	22%	77%	5	5	5	5	0
SN4	Giudizio famiglia	1%	9%	37%	42%	11%	4	4	3	4	1
SN5	Contributo ambiente	1%	4%	16%	38%	41%	4	5	4	5	1

Dalla tabella si evince che:

- Il 9% del campione ritiene che il veicolo elettrico non sia percepito positivamente dalla società.
- Circa l'importanza di guidare un veicolo che attiri attenzione, più del 75% del campione si è mostrato non interessato a questo aspetto. Il 18% si è ritenuto abbastanza d'accordo mentre il restante 4% ha espresso parere positivo a riguardo.
- La quasi totalità degli intervistati ritiene che l'acquisto di un EV non comporti nessun giudizio negativo da parte delle persone che frequenta.
- Relativamente all'ambito familiare, invece, il 53% del campione ritiene che la famiglia possa sostenerlo in tale scelta. Il 10% sostiene che l'acquisto di tale alimentazione possa suscitare pareri negativi mentre il 37% risulta relativamente d'accordo, probabilmente riconoscendo un certo scetticismo verso tali tipi di veicoli.
- Si evince, infine, che circa il 79% degli intervistati riconosce i vantaggi prodotti dal veicolo elettrico in termini di sostenibilità ambientale.

CONTROLLO COMPORTAMENTALE PERCEPITO

Analogamente si procede anche per il costrutto relativo al controllo comportamentale percepito

Tabella 30. Frequenze, indicatori di centralità e di dispersione per gli indicatori del costrutto PBC

Cod	Indicatore	1	2	3	4	5	Mediana	Moda	Q1	Q3	IQ
PBC1	Ingresso vietato convenzionali	2%	16%	35%	34%	13%	3	3	3	4	1
PBC2	Difficoltà ricarica a casa	2%	13%	35%	41%	9%	4	4	3	4	1
PBC3	Difficoltà piano di ricarica	3%	17%	49%	27%	4%	3	3	3	4	1
PBC4	Sviluppo di mezzi e tecnologie	2%	25%	39%	28%	6%	3	3	2	4	2
PBC5	Tempi di ricarica elevati	3%	7%	28%	54%	8%	4	4	3	4	1
PBC6	Autonomia sufficiente	1%	11%	35%	37%	16%	4	4	3	4	1

Dalla Tabella 30 si evince che:

- circa il 47% degli intervistati si è mostrato molto d'accordo rispetto al futuro scenario che limiterebbe l'ingresso nei centri storici alle auto a combustione interna
- Per quel che concerne le difficoltà di caricare a casa un veicolo elettrico, il 50% degli intervistati ritiene con sufficiente certezza che non incorrerebbe in tali difficoltà; il 35% si ritiene abbastanza d'accordo, la restante parte si divide tra i giudizi poco e per nulla d'accordo, ritenendo che incontrerebbero difficoltà.
- Uno degli aspetti che differenzia un veicolo elettrico rispetto ad uno convenzionale, è legato alla necessità di dover prevedere e pianificare gli spostamenti in funzione della ricarica del veicolo. Il 31% del campione ritiene che pianificare le ricariche del veicolo risulterà un'operazione poco impegnativa; vi è però un 20%, particolarmente spaventato dalle difficoltà che potrebbero incontrare nel pianificare le fasi di ricarica.
- Continuando ad analizzare gli aspetti relativi alla ricarica, è stato chiesto agli intervistati di valutare la compatibilità dei tempi di ricarica con le proprie attività. È emerso che il 62% degli intervistati ritiene con abbastanza certezza che i tempi di ricarica di un EV siano compatibili con i propri impegni, solo il 10% non vede proprio questa compatibilità.
- Il 53% degli intervistati ritiene che l'autonomia garantita attualmente dagli EV, pari a 200 km, sia sufficiente per quel che riguarda gli spostamenti in ambito urbano. Una percentuale del 35% si ritiene abbastanza d'accordo mentre decisamente ridotta è la percentuale di intervistati che ritiene tale condizione non compatibile.
- Lo sviluppo e la diffusione di tale alimentazione sono certamente connessi allo sviluppo di mezzi e tecnologie atte a favorirne l'utilizzo. Riguardo tale problematica possiamo affermare che solo il 27% degli intervistati ritiene che la nostra società non offrirà gli strumenti necessari ad una diffusione degli EV.

VANTAGGI DEI VEICOLI ELETTRICI E CARATTERISTICHE D'ACQUISTO

La Figura 70 mostra le percentuali relative al giudizio degli intervistati circa i vantaggi prodotti dagli EV in termini di riduzione di inquinamento. Oltre il 70% del campione riconosce i vantaggi legati ai veicoli elettrici. Il 24,12% si ritiene abbastanza d'accordo circa tali vantaggi, mentre solo il 3,52% non ritiene tale alimentazione vantaggiosa in termini di riduzione dell'inquinamento.

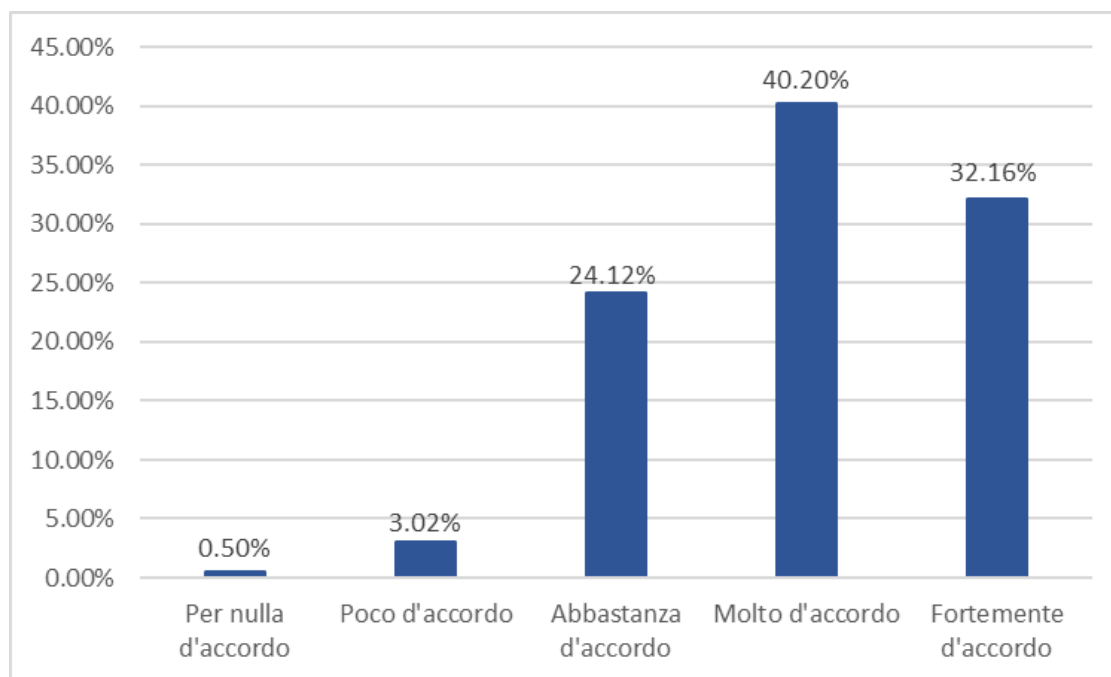


Figura 70 – Vantaggi dei veicoli elettrici in termini di riduzione di inquinamento

Altri vantaggi o svantaggi percepiti per i veicoli elettrici sono stati valutati chiedendo agli intervistati di esprimere quanto alcuni aspetti potessero influenzare la scelta di acquisto o di non acquisto di un veicolo elettrico.

È emerso che i principali motivi per cui acquistare un'auto elettrica sono rappresentati da consumi ridotti, riduzione delle emissioni di inquinanti e riduzione dell'inquinamento acustico.; al contrario, tra i motivi per cui non si ritiene conveniente comprare un veicolo elettrico, vi sono i costi di acquisto elevati e l'autonomia ridotta.

La figura che segue riassume l'importanza associata a diversi fattori (che in qualche modo rappresentano i principali vantaggi e svantaggi associati ai veicoli elettrici) nella fase di acquisto di un veicolo.

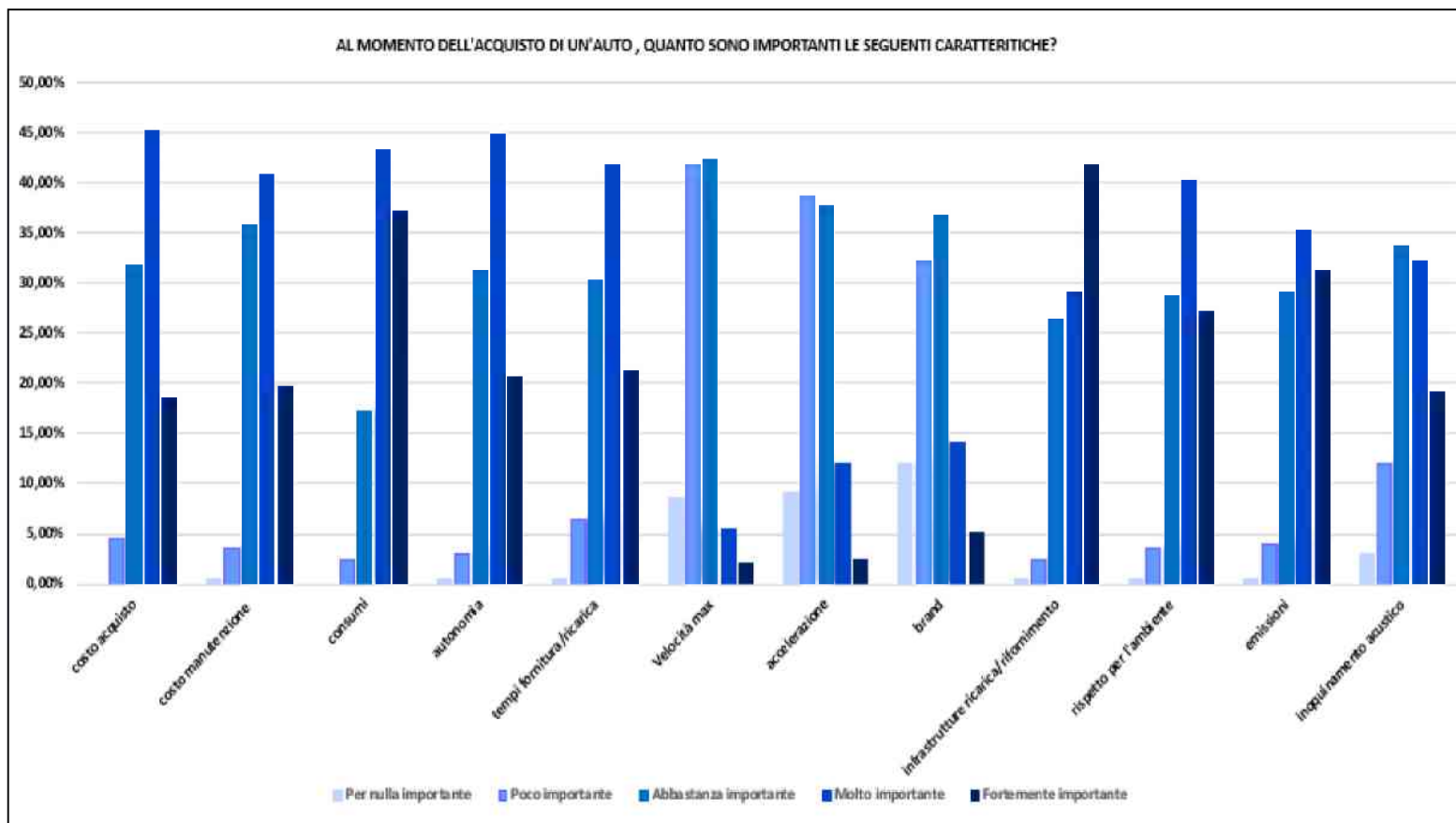


Figura 71 – Importanza di specifiche caratteristiche in fase di acquisto di un veicolo

5.3.1.3 ANALISI DEI COSTRUTTI ESTRAPOLATI DALLE TEORIE PSICOLOGICHE

In questa sezione si discute la ripartizione degli utenti con riferimento ai costrutti postulati dal modello transteorico e dalla teoria delle azioni pianificate, ovvero:

- Stadio del cambiamento (dalla TTM)
- Intenzione comportamentale e effettivo comportamento (dalla TPB).

Come già chiarito al paragrafo 5.2 e ricordato nelle tabelle in appendice B, questi costrutti sono stati ricavati a posteriori, a partire dalle informazioni raccolte. In questo paragrafo esaminiamo come gli utenti si ripartiscono rispetto ai suddetti costrutti.

Per quel che riguarda lo stadio del cambiamento, la tabella che segue mostra come si ripartiscono gli utenti in relazione alla prima e alla seconda fase dell'indagine:

Tabella 31. Ripartizione del campione nei diversi stadi del cambiamento

	Indagine Fase 1	Indagine Fase 2
Stadio1: Precontemplazione	44%	31%
Stadio2: Contemplazione	50%	61%
Stadio3: Preparazione	6%	8%

Come si evince dalla presente tabella, tra la fase 1 e la fase 2 dell'indagine si osservano delle piccole variazioni nella ripartizione relativa agli stadi del cambiamento; tuttavia, per poter asserire che queste variazioni siano effettive e dipendano dal trattamento cui sono stati sottoposti gli intervistati (video che hanno visto tra le due fasi di indagine) e che non siano variazioni dovute a casi fortuiti è necessario effettuare appositi test (che sono riportati nel paragrafo 5.3.2).

Per quel che riguarda invece l'intenzione comportamentale e l'effettivo comportamento di scelta degli utenti, si osservano le aliquote raccolte nella Tabella 32.

Tabella 32. Ripartizione del campione in termini di intenzione comportamentale ed effettivo comportamento

	Intenzione Comportamentale	Effettivo Comportamento
Convenzionale	11%	10%
Bifuel	12%	36%
EVs	77%	54%

5.3.2 Test non parametrici

Le assunzioni fatte circa la definizione dello stadio del cambiamento richiedono di effettuare dei test per verificare che le variabili "conoscenza dei veicoli elettrificati" e "scelta di utilizzo dei veicoli elettrificati in ambito urbano" contribuiscano a definire i tre stadi del cambiamento come se gli utenti fossero rappresentativi, effettivamente, di tre gruppi differenti. Essendo le variabili coinvolte nella definizione dello stadio del cambiamento delle variabili ordinali, i test statistici da svolgere sono dei test non parametrici.

A tal fine è stato effettuato dapprima un test di Kruskal-Wallis (1952) per verificare l'uguaglianza delle mediane di diversi gruppi, ovvero per verificare se tali gruppi provenissero da una stessa popolazione (o da popolazioni con uguale mediana).

Ricordiamo che quando si effettua questo test, le ipotesi sono:

H_0 : le mediane della popolazione sono uguali.

H_1 : le mediane della popolazione non sono uguali.

Il test di Kruskal Wallis indica se esiste una differenza significativa tra i gruppi. Tuttavia, non indica quali gruppi sono diversi. Per questo è necessario eseguire dei test successivi.

Il test in esame è stato eseguito tramite l'ausilio del Software statistico SPSS al fine di valutare se ai tre stadi del cambiamento fossero effettivamente associati diversi livelli di conoscenza dei veicoli elettrificati e diverse scelte di utilizzo di tali veicoli. Dall'analisi emerge che è necessario rifiutare l'ipotesi nulla (H_0 : le mediane della variabile conoscenza dei veicoli elettrificati sono le stesse tra le categorie stadio del cambiamento), e dunque che la conoscenza dei veicoli elettrificati contribuisce effettivamente alla definizione dello stadio del cambiamento. Lo stesso si verifica anche applicando il test di Kruskal Wallis per verificare se ai tre stadi del cambiamento fossero associate diverse scelte di utilizzo dei veicoli elettrificati in ambito urbano).

Il test di Kruskal Wallis ha confermato l'esistenza di una differenza significativa tra i gruppi, ma non tra quali. Per tale motivo, si è poi implementato il test U di Mann-Whitney a gruppi di due. L'ipotesi nulla per il test è che i due campioni provengano dalla stessa popolazione (cioè che abbiano entrambi la stessa mediana).

Dunque il test è stato implementato per testare la concorrenza della conoscenza e delle scelte di utilizzo delle auto elettrificate nella definizione dello stadio del cambiamento, considerando in questo caso i gruppi dello stadio del cambiamento a coppie di due.

Anche questo test è stato condotto tramite l'ausilio del software SPSS; come si evince dagli output riportati di seguito, usando come variabile di riferimento la conoscenza delle auto elettrificate, per tutte e tre le coppie è necessario rifiutare l'ipotesi nulla (quindi i gruppi con i diversi stadi del cambiamento non sono associati alla stessa popolazione).

Riepilogo test sull'ipotesi			
Ipotesi nulla	Test	Sign.	Decisione
1 La distribuzione di Conoscenza_green_1_2 è la stessa tra le categorie di Stage_f1_1_2.	Test U di Mann-Whitney a campioni indipendenti	,000	Rifiutare l'ipotesi nulla.

Vengono visualizzate le significatività asintotiche. Il livello di significatività è ,05.

Riepilogo test sull'ipotesi			
Ipotesi nulla	Test	Sign.	Decisione
1 La distribuzione di Conoscenza_green_2_3 è la stessa tra le categorie di Stage_f1_2_3.	Test U di Mann-Whitney a campioni indipendenti	,000	Rifiutare l'ipotesi nulla.

Vengono visualizzate le significatività asintotiche. Il livello di significatività è ,05.

Figura 72 – Risultati del test U di Mann-Whitney rispetto alla variabile “Conoscenza dei veicoli ad alimentazione elettrificata”

Analogo test è stato effettuato per testare la concorrenza della scelta di utilizzo in ambito urbano delle auto elettrificate nella definizione dello stadio del cambiamento, considerando in questo caso i gruppi dello stadio del cambiamento a coppie di due. In tal caso sono stati ottenuti degli output differenti a seconda dei gruppi presi in considerazione.

Riepilogo test sull'ipotesi			
Ipotesi nulla	Test	Sign.	Decisione
1 La distribuzione di Scelta_green_1_2 è la stessa tra le categorie di Stage_f1_1_2.	Test U di Mann-Whitney a campioni indipendenti	,000	Rifiutare l'ipotesi nulla.

Vengono visualizzate le significatività asintotiche. Il livello di significatività è ,05.

Riepilogo test sull'ipotesi			
Ipotesi nulla	Test	Sign.	Decisione
1 La distribuzione di Scelta_green_2_3 è la stessa tra le categorie di Stage_f1_2_3.	Test U di Mann-Whitney a campioni indipendenti	1,000	Mantenere l'ipotesi nulla.

Vengono visualizzate le significatività asintotiche. Il livello di significatività è ,05.

Figura 73 – Risultati del test U di Mann-Whitney rispetto alla variabile “Utilizzo dei veicoli ad alimentazione elettrificata, in ambito urbano”

Come si evince, in questo caso, la variabile considerata non è determinante per la distinzione tra i gruppi 2 e 3.

Va tuttavia considerato che: lo stadio 2 e lo stadio 3 considerano entrambi la stessa scelta di utilizzo e che, da letteratura, l'elemento distintivo che caratterizza il passaggio da uno stadio all'altro è la consapevolezza degli utenti e dunque la loro conoscenza verso il comportamento investigato; per tali motivi si è comunque ritenuto opportuno il poter considerare la combinazione delle due variabili per la definizione degli stadi del cambiamento.

La ripetizione delle domande dell'indagine effettuata tra la fase I e la fase II è stata pensata per verificare se si potesse osservare sin da subito un passaggio da uno stadio del cambiamento all'altro, a valle della visione del primo momento informativo.

In particolare, con riferimento ai risultati ottenibili dalle due fasi dell'indagine le attese riguardavano:

- Una variazione dello stadio del cambiamento → la visione del video avrebbe potuto/dovuto innescare negli intervistati la necessità di comprendere al meglio le problematiche da traffico veicolare e la volontà di conoscere anche in maniera autonoma le principali caratteristiche di soluzioni elettrificate;
- Costanza nelle domande attitudinali → le domande attitudinali poste agli utenti in queste due fasi sono domande di natura generica e non rivolte alla tematica esaminata (quindi non sono esplicitamente rivolte alla tipologia di alimentazione preferita). Esse dovrebbero essere quindi rappresentative di atteggiamenti ben inculcati negli utenti e non facilmente modificabili sulla scorta di un breve video introduttivo alla problematica da traffico veicolare.

Siccome sia lo stadio del cambiamento che le domande attitudinali sono valutati su una scala ordinale (a tre o a 5 livelli), anche queste ipotesi attese vengono verificate tramite dei test non parametrici.

In tal caso il test U di Mann-Whitney consente di comparare le due serie di dati ordinali per stabilire se esistono differenze nella localizzazione (più che nella forma) della loro distribuzione, consentendo quindi di controllare se i due campionamenti provengono dalla stessa popolazione. Un valore del p-value maggiore di 0.05, significa che le medie delle rilevazioni sono sostanzialmente rimaste inalterate. Il confronto dei dati ha fornito dei valori del p-value molto superiori al valore di 0.05, ad eccezione di tre indicatori, riassunti in Figura 74.

Elemento	p-value
Mi provoca stanchezza mentale l'utilizzo di una nuova tecnologia (nuova App, nuovo dispositivo, nuovo sistema operativo).	0,006
Quando acquisti un'automobile quanto sono importanti per te i consumi?	0,041
Quando acquisti un'automobile quanto è importante per te la casa automobilistica?	0,024

Figura 74 – Variabili per le quali è necessario rifiutare l'ipotesi nulla di uguaglianza tra le fasi di indagine.

Ne consegue quindi, che per tutte le variabili considerate (dunque sia per le domande attitudinali che per lo stadio del cambiamento) ad eccezione delle tre mostrate in figura è necessario mantenere valida l'ipotesi nulla, ovvero che la distribuzione della variabile esaminata sia la stessa tra la fase 1 e la fase 2.

Questo significa che rispetto a quanto atteso, le supposizioni sullo stadio del cambiamento non erano corrette, mentre quelle sulle domande attitudinali lo erano.

In relazione a questi risultati ottenuti, non è stato possibile utilizzare i dati appartenenti alla fase due per considerare una fase differente dello stadio del cambiamento. Inoltre, avendo confermato che tra la fase 1 e la fase 2 gli utenti non mostrano grandi variazioni, le successive elaborazioni proposte sono state formulate prendendo come riferimento soltanto i dati della fase 1 e della fase 3.

5.4 Modellazione ad equazioni strutturali

Come già accennato al paragrafo 5.2 il quadro metodologico proposto nel presente progetto di ricerca integra i determinanti della teoria del comportamento pianificato con il processo evolutivo a stadi proposto dal modello transteorico. L'idea principale di questo studio è stata quella di esaminare il possibile effetto dello stadio del cambiamento sull'intenzione comportamentale e di conseguenza sul comportamento effettivo degli utenti quando si esamina la volontà di acquistare un veicolo ad alimentazione alternativa rispetto a quelle convenzionali (Benzina o ibrida).

Più specificamente, il quadro di riferimento ipotizzato può essere osservato nella Figura 75. Partendo da quanto postulato dalla Teoria del Comportamento Pianificato, si ipotizza che:

- H0: L'intenzione comportamentale di acquisto ha un effetto diretto sull'effettivo comportamento di acquisto dell'utente.
- H1: L'atteggiamento verso i veicoli elettrici (Att) ha un'influenza sull'intenzione comportamentale di acquisto.
- H2: La norma soggettiva (SN) relativa ai veicoli elettrici ha un effetto diretto sull'intenzione comportamentale di acquisto.
- H3: Il controllo comportamentale percepito (PBC) ha un effetto moderatore tra l'atteggiamento verso i veicoli elettrici e l'intenzione di acquisto.
- H4: Il controllo comportamentale percepito (PBC) ha un effetto moderatore tra le norme sociali e l'intenzione di acquisto.

A queste ipotesi se ne aggiunge un'altra che rappresenta il legame tra il modello transteorico e la Teoria del comportamento pianificato:

- H5: Lo stadio di cambiamento (S) ha un effetto diretto sull'intenzione comportamentale di acquisto.

A sua volta, si ipotizza che lo stadio di cambiamento possa essere definito attraverso quattro costrutti latenti che sono tipici della persona e sono indipendenti dal contesto di scelta, ma che potrebbero giocare un ruolo non trascurabile in un contesto come quello esaminato. Tali costrutti sono la percezione dei consumi, l'attitudine verso l'ambiente, l'attitudine verso la tecnologia e le norme sociali. Di conseguenza, vengono formulate le seguenti ipotesi aggiuntive:

- H6: La percezione del consumo (c) ha un effetto diretto sullo stadio del cambiamento.
- H7: L'atteggiamento verso l'ambiente (a) ha un effetto diretto sullo stadio del cambiamento.
- H8: L'atteggiamento verso la tecnologia (t) ha un effetto diretto sullo stadio del cambiamento.
- H9: Le norme sociali (sn) hanno un effetto diretto sullo stadio del cambiamento.

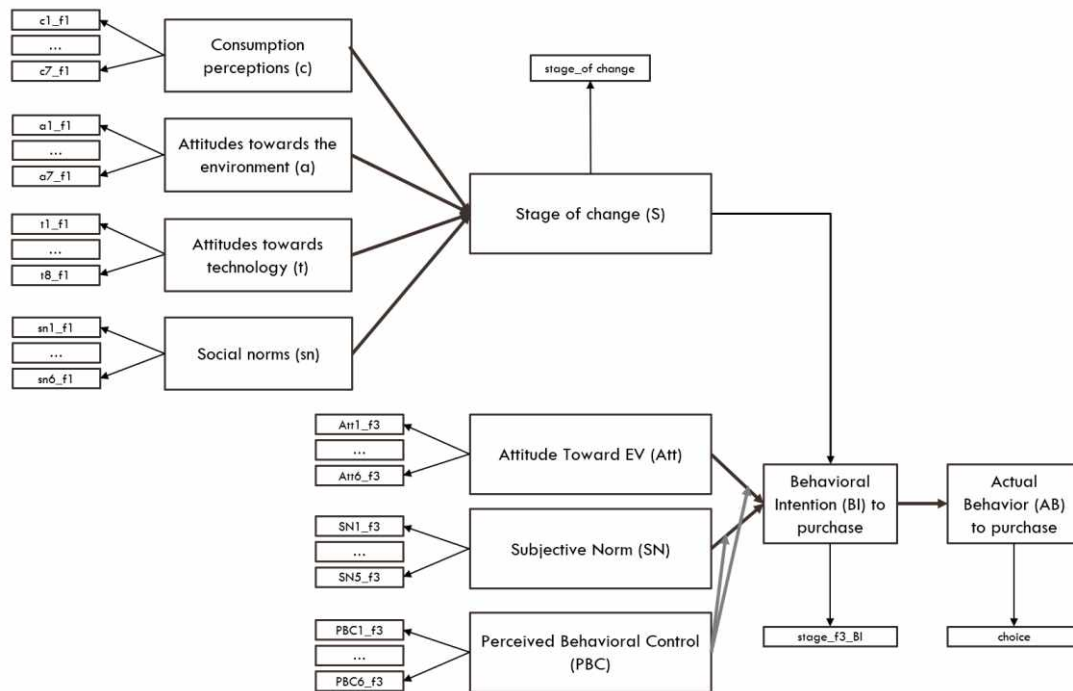


Figura 75 – Modello originario ipotizzato

Le relazioni proposte in questo quadro metodologico sono state studiate tramite il ricorso ai modelli di equazioni strutturali. Il primo passaggio è stato quello di scegliere quale approccio potesse essere più adatto allo studio in esame.

Come si evince anche dalla figura, i due costrutti relativi allo stadio del cambiamento e all'intenzione comportamentale sono rappresentati da indicatori singoli (ricavati a posteriori come discusso nei paragrafi precedenti). Inoltre, in accordo agli sviluppi della TPB rispetto alla trattazione originaria, il costrutto del controllo comportamentale percepito andrebbe trattato come una variabile di moderazione piuttosto che come una variabile che gioca un ruolo diretto nell'influencare l'intenzione comportamentale.

Pertanto, data la presenza di costrutti a singolo item e di variabili moderatrici e considerando anche la natura esplorativa del seguente quadro metodologico, è parso teoricamente più corretto studiare lo stesso perseguendo un approccio PLS-SEM.

Tuttavia, il quadro modellistico risultato valido a valle dello studio con approccio PLS-SEM, a meno degli adeguamenti necessari per poter accomodare le capacità dei Software utilizzati, è stato altresì analizzato con un approccio CB-SEM.

I paragrafi che seguono, pertanto, riportano i principali risultati ottenuti applicando entrambi gli approcci. È utile menzionare che l'analisi con approccio PLS-SEM è stata eseguita con l'ausilio del Software SmartPLS3 (Ringle et al., 2015), mentre l'analisi con approccio CB-SEM è stata eseguita con l'ausilio del Software Lisrel 10 (Jöreskog & Sörbom, 2018).

5.4.1 Valutazione con approccio PLS-SEM

L'implementazione del PLS-SEM ha consentito di verificare le ipotesi del quadro metodologico proposto e di confermare solo alcune di esse. In particolare, lo schema risultante verificato (per il quale si discutono i risultati) è quello presentato in Figura 76.

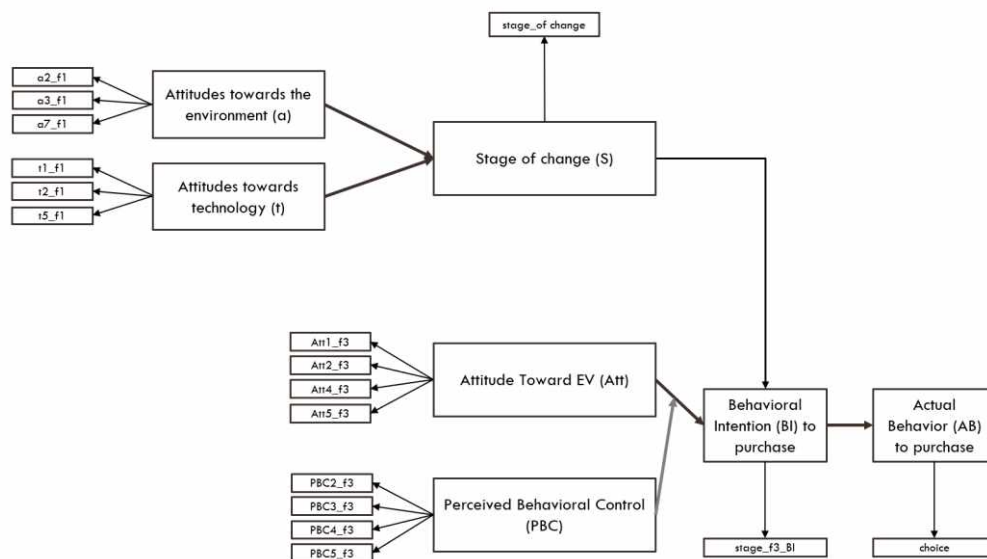


Figura 76 – Modello finale risultante

Più precisamente restano quindi verificate le seguenti ipotesi:

- H0: L'intenzione comportamentale ha un effetto diretto sull'effettivo comportamento di acquisto dell'utente.
- H1: L'attitudine verso i veicoli elettrici ha un'influenza sull'intenzione comportamentale di acquisto.
- H2: La PBC ha un effetto moderatore tra l'attitudine verso i veicoli elettrici e l'intenzione comportamentale di acquisto.
- H3: Lo stadio del cambiamento ha un effetto diretto sull'intenzione comportamentale di acquisto.
- H4: L'attitudine verso l'ambiente ha un effetto diretto sullo stadio del cambiamento.
- H5: L'attitudine verso la tecnologia ha un effetto diretto sullo stadio del cambiamento.

I principali risultati ottenuti per il modello sono riportati di seguito.

RISULTATI DEL MODELLO DI MISURAZIONE

La valutazione dei modelli di misurazione è avvenuta valutando l'affidabilità e la validità dei costrutti, secondo quanto discusso al paragrafo 4.2.1.1.

In primo luogo sono stati valutati i valori dei carichi (o saturazioni) esterni. Sono stati eliminati tutti gli indicatori che non contribuivano alla saturazione del costrutto latente con valori superiori a 0.4, sono stati considerati soddisfacenti gli indicatori con una saturazione superiore a 0.7, mentre è stata seguita una procedura iterativa (basata sulla valutazione dell' R^2 e dell'AVE) per gli indicatori con una saturazione compresa tra 0.4 e 0.7. I valori delle saturazioni esterne sono riportati nella Tabella 33.

Per motivi di compattezza, le tabelle dei prossimi paragrafi includono anche i risultati relativi alla valutazione della variabile moderatrice (PBC), discussi più dettagliatamente nella sezione essa dedicata.

Tabella 33. Saturazioni esterne

Items	a	t	S	Att.	BI	AB	PBC
a2_f1	0.611						
a3_f1	0.727						
a7_f1	0.782						
t1_f1		0.620					
t2_f1		0.904					
t5_f1		0.584					
stage_f1			1.000				
Att1_f3				0.549			
Att2_f3				0.789			
Att4_f3				0.809			
Att5_f3				0.782			
Stage_f3_BI					1.000		
Choice						1.000	
pbc2_f3							0.725
pbc3_f3							0.682
pbc4_f3							0.665
pbc5_f3							0.802

*In cui a= attitudine verso l'ambiente; t= attitudine verso la tecnologia; S=stadio del cambiamento; BI=intenzione comportamentale; AB= Effettivo comportamento; PBC= controllo comportamentale percepito.
Per gli indicatori si rimanda all'appendice B.*

La valutazione dell'affidabilità della consistenza interna è stata effettuata tenendo conto dell'alfa di Cronbach e dell'affidabilità composita: si è deciso di considerare il costrutto affidabile se presentava rispettivamente un valore di alfa di Cronbach superiore a 0,5 (come prescritto da Cronbach, 1951) e un valore di affidabilità composita superiore a 0,6 (come prescritto da Hair et al., 2017).

Inoltre, anche la validità convergente è stata valutata per i costrutti accettati, verificando che il relativo valore di AVE (Varianza media estratta) fosse maggiore di 0,5; la sintesi della valutazione dell'affidabilità e della validità convergente del costrutto è riportata nella Tabella 34.

Tabella 34. Affidabilità e validità convergente dei costrutti

Costrutti	α di Cronbach's	Affidabilità composita	(AVE)
a	0.502	0.751	0.504
t	0.565	0.753	0.514
S	1.000	1.000	1.000
Att	0.728	0.826	0.547
BI	1.000	1.000	1.000
AB	1.000	1.000	1.000
PBC	0.707	0.811	0.519

In cui a= attitudine verso l'ambiente; t= attitudine verso la tecnologia; S=stadio del cambiamento; BI=intenzione comportamentale; AB= Effettivo comportamento; PBC= controllo comportamentale percepito.

Come si evince, la valutazione dell'affidabilità e della validità convergente dei costrutti hanno determinato una prima riduzione del numero di costrutti che potessero ritenersi effettivamente rappresentativi delle grandezze latenti ipotizzate. Tuttavia la fase di analisi fattoriale confermativa prosegue anche con la valutazione della validità discriminante. Per i costrutti rimasti, quest'ultima è stata valutata verificando il rispetto dei criteri di di Fornell-Larcker, cross loading e dell'HTMT, i cui risultati vengono riportati, rispettivamente, nella Tabella 35, Tabella 36 e Tabella 37. Come si può notare, per i costrutti rimasti, anche la validità discriminante è stata verificata con tutti e tre i criteri applicati.

Tabella 35. Validità discriminante - Fornell-Larcker

	AB	a	t	Att	BI	S	PBC
AB	1.000						0.266
a	0.141	0.710					0.152
t	-0.058	0.172	0.717				0.003
Att	0.374	0.343	0.236	0.740			0.498
BI	0.365	0.277	0.099	0.523	1.000		0.371
S	0.143	0.250	0.209	0.319	0.315	1.000	0.276
PBC							0.720

In cui a= attitudine verso l'ambiente; t= attitudine verso la tecnologia; S=stadio del cambiamento; BI=intenzione comportamentale; AB= Effettivo comportamento; PBC= controllo comportamentale percepito.

Tabella 36. Validità discriminante – Cross loading

	AB	a	t	Att	BI	S	PBC
Att1_f3	0.195	0.244	0.146	0.549	0.206	0.164	0.230
Att2_f3	0.282	0.263	0.232	0.789	0.408	0.241	0.381
Att4_f3	0.327	0.409	0.257	0.809	0.362	0.321	0.447
Att5_f3	0.291	0.154	0.091	0.782	0.492	0.216	0.386
a2_f1	0.142	0.611	0.114	0.175	0.177	0.174	0.173
a3_f1	0.064	0.727	0.132	0.253	0.214	0.155	0.052
a7_f1	0.090	0.782	0.121	0.296	0.200	0.197	0.094
Choice	1.000	0.141	-0.058	0.374	0.365	0.143	0.266
stage_f3_Bintention	0.365	0.277	0.099	0.523	1.000	0.315	0.371
t1_f1	0.015	0.155	0.620	0.161	0.125	0.076	0.010
t2_f1	-0.069	0.158	0.904	0.228	0.093	0.217	-0.003
t5_f1	-0.039	0.058	0.584	0.096	0.003	0.101	0.007
Stage_of_change	0.143	0.250	0.209	0.319	0.315	1.000	0.276
pbc2_f3	0.230	0.049	0.006	0.286	0.240	0.210	0.725
pbc3_f3	0.181	0.044	0.006	0.275	0.147	0.211	0.682
pbc4_f3	0.153	0.174	0.016	0.372	0.222	0.129	0.665
pbc5_f3	0.203	0.141	-0.011	0.450	0.373	0.239	0.802

In cui a= attitudine verso l'ambiente; t= attitudine verso la tecnologia; S=stadio del cambiamento; BI=intenzione comportamentale; AB= Effettivo comportamento; PBC= controllo comportamentale percepito.

Per gli indicatori si rimanda all'appendice B.

Tabella 37. Validità discriminante – HTMT

	AB	a	t	Att	BI	S	PBC
AB							
a	0.197						0.282
t	0.074	0.345					0.071
Att	0.432	0.592	0.373				0.652
BI	0.365	0.393	0.134	0.580			0.401
S	0.143	0.349	0.239	0.372	0.315		0.322

In cui a= attitudine verso l'ambiente; t= attitudine verso la tecnologia; S=stadio del cambiamento; BI=intenzione comportamentale; AB= Effettivo comportamento; PBC= controllo comportamentale percepito.

Pertanto, la verifica del modello di misurazione ha permesso di identificare i costrutti latenti ben rappresentati dalle informazioni raccolte nella fase di indagine, nonché gli item che hanno contribuito a una rappresentazione robusta e affidabile degli stessi.

RISULTATI DEL MODELLO STRUTTURALE

Di seguito sono riportati i risultati dei 6 passi da seguire per la verifica del modello strutturale. Si noti che anche in questo caso, per motivi di compattezza, si riportano i risultati relativi alla valutazione della variabile moderatrice, che, come si chiarirà nella sezione dedicata, per la parte strutturale del modello, riguarda il termine di interazione.

In primo luogo, è stata verificata l'assenza di collinearità tra i costrutti esogeni che contribuiscono alla formazione dello stesso costrutto endogeno, assicurandosi che il parametro indicatore VIF fosse inferiore a 5. La Tabella 38 mostra come tutti i costrutti esogeni presentino un valore di VIF inferiore a 2, denotando l'assenza di collinearità tra i fattori che concorrono a definire lo stesso costrutto endogeno.

Tabella 38. VIF

	AB	BI	S
a			1.031
t			1.031
Att		1.444	
BI	1.000		
S		1.138	
PBC*Att_EV		1.168	

*In cui a= attitudine verso l'ambiente; t= attitudine verso la tecnologia; S=stadio del cambiamento; BI=intenzione comportamentale; AB= Effettivo comportamento; PBC= controllo comportamentale percepito; PBC*Att_EV = Termine di interazione introdotto dalla moderazione che la PBC effettua sul legame tra attitudine verso gli EV e l'intenzione comportamentale*

A seguire sono stati verificati i valori dei coefficienti di percorso con i relativi t-test. Come mostrato nella Tabella 39, tutte le connessioni prese in considerazione sono verificate con un livello di significatività superiore al 95%. Come previsto, l'attitudine verso l'ambiente e l'attitudine verso la tecnologia influenzano positivamente lo stadio di cambiamento in cui si trovano gli utenti; allo stesso tempo, lo stadio di cambiamento e l'atteggiamento verso i veicoli elettrici influenzano positivamente l'intenzione comportamentale degli utenti. Infine, si può notare che l'intenzione comportamentale ha un'influenza positiva e non trascurabile sul comportamento effettivo degli utenti.

Tabella 39. Coefficienti di percorso, t-test e p-value

	Value	T Statistics	P Values
a → S	0.220	8.693	0.000
t → S	0.171	6.316	0.000
Att → BI	0.377	12.826	0.000
S → BI	0.142	7.360	0.000
BI → AB	0.365	14.403	0.000
PBC*Att_EV → BI	-0.152	8.677	0.000

*In cui a= attitudine verso l'ambiente; t= attitudine verso la tecnologia; S=stadio del cambiamento; BI=intenzione comportamentale; AB= Effettivo comportamento; PBC= controllo comportamentale percepito; PBC*Att_EV = Termine di interazione introdotto dalla moderazione che la PBC effettua sul legame tra attitudine verso gli EV e l'intenzione comportamentale*

In conformità con il passo 3 relativo alla valutazione del modello strutturale, è stato valutato il parametro R^2 . I valori di R^2 associati ai tre costrutti endogeni sono relativamente bassi (Tabella 41), tuttavia, come riportato in letteratura (Hair et al.,2017) nel caso della ricerca comportamentale, un valore di 0,2 è considerato alto, quindi si è deciso di accettare i valori e procedere con l'esplorazione.

Passando alla valutazione dell'“effect size f^2 ”, ricordiamo che nel caso del modello strutturale, valori di 0,02, 0,15 e 0,35 rappresentano rispettivamente effetti piccoli, medi e grandi (Cohen, 1988) della variabile latente esogena, mentre valori inferiori a 0,02 indicano l'assenza dell'effetto. Come mostrato nella Tabella 40, tutti i costrutti ipotizzati hanno almeno un piccolo effetto nel definire i costrutti endogeni su cui agiscono.

Tabella 40. effect size f^2

	AB	BI	S
a			0.052
t			0.031
Att		0.149	
BI	0.154		
S		0.027	
PBC*Att_EV		0.044	

*In cui a= attitudine verso l'ambiente; t= attitudine verso la tecnologia; S=stadio del cambiamento; BI=intenzione comportamentale; AB= Effettivo comportamento; PBC= controllo comportamentale percepito; PBC*Att_EV = Termine di interazione introdotto dalla moderazione che la PBC effettua sul legame tra attitudine verso gli EV e l'intenzione comportamentale*

Passando alla valutazione della rilevanza predittiva, si può notare che per tutti i costrutti endogeni esiste un valore Q^2 maggiore di zero, che indica un certo grado di rilevanza predittiva.

Tabella 41. R² e Q²

	R ²	R ² adattato	Q ²
AB	0.133	0.133	0.132
S	0.091	0.089	0.089
BI	0.339	0.336	0.332

In cui S=stadio del cambiamento; BI=intenzione comportamentale; AB= Effettivo comportamento

Inoltre, l'impatto della rilevanza predittiva di ciascun costrutto esogeno sulla previsione dei costrutti endogeni è stato valutato attraverso la valutazione della dimensione dell'effetto q^2 . Questo effetto viene valutato manualmente, poiché non è fornito dal software. Valori di 0,02, 0,15 e 0,35 indicano che una variabile esogena ha una significatività predittiva rispettivamente piccola, media e grande. Nel caso in esame, i valori ottenuti sono riportati nella Tabella 42.

Tabella 42. effect size q^2

	BI	S
a		0.050
t		0.031
Att	0.22	
S	0.027	

In cui a= attitudine verso l'ambiente; t= attitudine verso la tecnologia; S=stadio del cambiamento; BI=intenzione comportamentale

RISULTATI DELL'EFFETTO DI MODERAZIONE

In primo luogo è necessario ricordare cosa avviene per la variabile di moderazione. Quando si include un effetto di moderazione nel modello di percorso PLS, si introduce anche una relazione diretta tra il moderatore e il costrutto endogeno. Quest'ultima è necessaria per tenere conto dell'effetto diretto del moderatore sul costrutto endogeno. Per modellare le variabili di moderazione nel PLS-SEM, è necessario includere un termine di interazione, che rappresenta l'interazione tra la variabile latente esogena e la variabile di moderazione. Tra i tre metodi esistenti per modellare il termine di interazione, in questo caso è stato utilizzato l'approccio del "prodotto-indicatore", che consiste nel moltiplicare ogni indicatore della variabile latente esogena per ogni indicatore della variabile moderatrice (Chin, Marcolin, & Newsted, 2003). In questo modo, i cosiddetti indicatori-prodotto diventano gli indicatori del termine di interazione. Quando si valutano i modelli di misurazione riflessiva, la variabile moderatrice deve soddisfare tutti i criteri rilevanti in termini di affidabilità della consistenza interna, validità convergente e validità discriminante, mentre gli stessi indicatori non devono necessariamente essere verificati per la variabile di interazione. Pertanto, i risultati per i valori di saturazione esterna sono riportati nella Tabella 33, i risultati per l'affidabilità e la validità di costrutto sono riportati nella Tabella 34 e, infine, i risultati per gli indicatori di validità discriminante sono riportati nella Tabella 35 (cross loading), Tabella 36 (Fornell-Larcker) e Tabella 37 (HTMT).

La valutazione della parte strutturale, invece, deve essere effettuata sul termine di interazione e non direttamente sulla variabile di moderazione. La Tabella 39 mostra che il termine di interazione è significativo e ha un effetto negativo sull'intenzione comportamentale (-0,152), mentre l'effetto semplice dell'attitudine verso gli EV sull'intenzione comportamentale è positivo e pari a 0,377. Ciò significa che per un controllo comportamentale percepito più elevato, la relazione tra l'attitudine verso gli EV e

l'intenzione comportamentale diminuisce della dimensione dell'effetto di interazione (cioè $0,377 - 0,152 = 0,225$).

È importante anche la valutazione della dimensione dell'effetto f^2 del termine di interazione, che nel caso in esame (Tabella 40) è pari a 0,044, che secondo i valori guida suggeriti da Kenny (2016) corrisponde a un effetto ampio.

5.4.2 valutazione con approccio CB-SEM

Il modello validato con l'approccio PLS-SEM è stato riprodotto e verificato anche con l'approccio CB-SEM, in questo caso utilizzando il software Lisrel. Innanzitutto, va specificato che alcuni punti di forza dell'approccio PLS-SEM non sarebbero riproducibili con l'approccio CB-SEM. Di conseguenza, l'utilizzo di indicatori a indicatore singolo per definire i costrutti endogeni e l'introduzione di variabili moderatrici si rivelano dei limiti quando si procede con l'approccio CB-SEM; proprio per questo motivo, nello schema in esame, la PBC non viene introdotta come variabile moderatrice, ma come costrutto esogeno che ha un effetto diretto sul costrutto endogeno dell'intenzione comportamentale di acquisto (Figura 77).

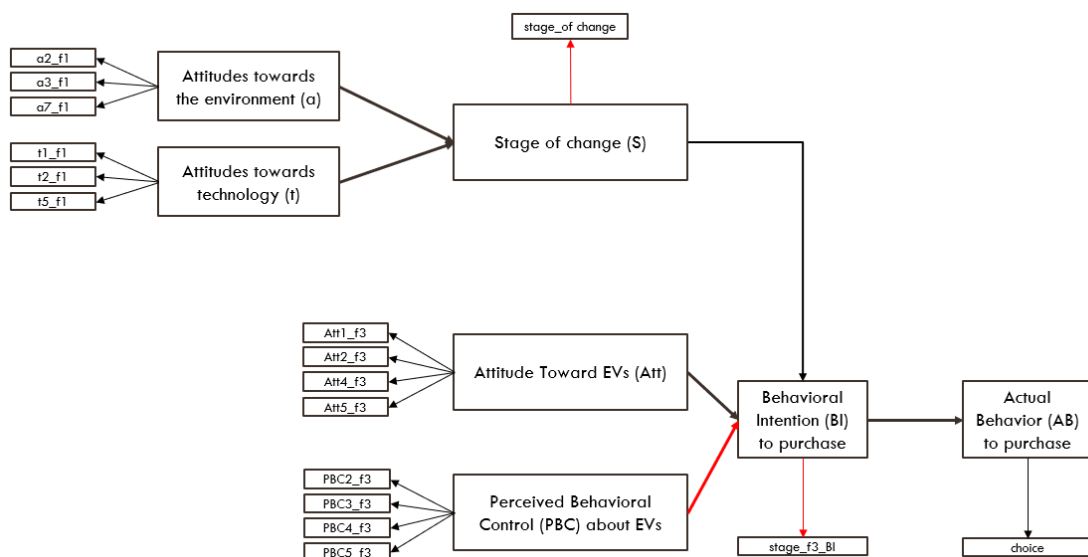


Figura 77 – Modello studiato con approccio CB-SEM

Ovviamente, per poter effettuare un confronto coerente, lo stesso schema è stato riprodotto con approccio PLS-SEM. Ovviamente i risultati del modello di misurazione restano invariati, mentre i risultati dei coefficienti di percorso rispetto a cui effettuare il confronto tra i due metodi sono riportati in Tabella 43.

Tabella 43. Coefficienti di percorso, t-test e p-value per il modello utilizzato per il confronto tra i due approcci SEM.

	Value	T Statistics	P Values
a → S	0.220	8.633	0.000
t → S	0.171	6.254	0.000
Att → BI	0.414	13.467	0.000
S → BI	0.149	7.328	0.000
PBC → BI	0.124	4.967	0.000
BI → AB	0.365	14.082	0.000

In cui a= attitudine verso l'ambiente; t= attitudine verso la tecnologia; S=stadio del cambiamento; BI=intenzione comportamentale; AB= Effettivo comportamento; PBC= controllo comportamentale percepito;

Vale anche la pena notare che nel caso dell'approccio CB-SEM è sempre necessario assegnare una scala di valori a ciascun costrutto latente, operazione che può essere fatta assegnando a ciascun costrutto latente la stessa scala di uno dei suoi indicatori, che risulta l'indicatore di inizializzazione. Di conseguenza, il confronto dei risultati ottenuti con le due metodologie deve essere effettuato facendo riferimento alla soluzione standardizzata, in cui le varianze di tutte le variabili sono uguali a uno. I risultati standardizzati ottenuti con l'approccio CB-SEM e i corrispondenti valori del t-test sono riportati nella Tabella 44, sia per le saturazioni di ciascun indicatore che per i valori dei coefficienti di percorso. L'indicatore di inizializzazione, per ogni costrutto, è immediatamente noto nella tabella, perché non figura il t-test corrispondente.

Tabella 44. Saturazioni esterne e coefficienti di percorso con l'approccio CB-SEM

Items	a	t	Att	PBC	S	BI	AB
Saturazioni esterne							
a2_f1	0.28 (7.78)						
a3_f1	0.63 (13.11)						
a7_f1	0.68						
t1_f1		0.56 (10.76)					
t2_f1		0.70					
t5_f1		0.39 (9.32)					
Att1_f3			0.47 (15.72)				
Att2_f3			0.69 (22.32)				
Att4_f3			0.81				
Att5_f3			0.59 (19.72)				
pbc2_f3				0.59 (15.90)			
pbc3_f3				0.62 (16.40)			
pbc4_f3				0.58 (15.57)			
pbc5_f3				0.65			
Stage_of_Change					1.000		
Stage_f3_BI						1.000	
Choice							1.000
Coefficienti di percorso							
a					0.28 (7.31)		
t					0.18 (4.76)		
Att						0.44 (9.91)	
PBC						0.10 (2.35)	

S	0.12 (4.84)
BI	0.36 (13.59)

In cui α = attitudine verso l'ambiente; t = attitudine verso la tecnologia; S =stadio del cambiamento; BI =intenzione comportamentale; AB = Effettivo comportamento: PBC = controllo comportamentale percepito.

Per gli indicatori si rimanda all'appendice B.

Tra parentesi i valori della statistica t .

Come già detto al paragrafo 4.2 per quanto riguarda i risultati che si possono ottenere con i due approcci SEM, in letteratura si parla spesso di "PLS-SEM bias". È solo quando il numero di indicatori per ogni variabile latente e il numero di osservazioni tendono all'infinito che i valori delle variabili latenti sono simili con i due approcci.

Il confronto ha permesso di verificare che anche i risultati ottenuti in questo lavoro risentono del cosiddetto fenomeno della "distorsione su larga scala". Sebbene le relazioni considerate con l'approccio PLS-SEM siano significative anche quando si applica il CB-SEM, si può notare che le relazioni del modello di misura sono sovrastimate con il PLS-SEM, mentre quelle del modello strutturale sono, solo in parte, sottostimate. D'altra parte, si può anche notare che i rapporti di forza tra i diversi indicatori o tra i diversi costrutti rimangono invariati.

Tuttavia, ciò che è assolutamente necessario tenere in considerazione è che la valutazione dei modelli con l'approccio CB-SEM viene effettuata essenzialmente con riferimento agli indicatori di bontà di adattamento. Come si evince dalla Tabella 45, alcuni indicatori sono verificati, mentre altri non lo sono. Ne consegue, quindi, che in prima analisi il modello in esame (per quanto leggermente diverso da quello inizialmente esaminato con l'approccio PLS-SEM a causa dell'impossibilità di introdurre la variabile PBC come variabile di moderazione) verrebbe rifiutato se studiato con l'approccio CB-SEM. D'altro canto, poiché l'analisi in esame ha carattere esplorativo, e visti gli aggiustamenti che l'approccio CB-SEM richiede rispetto a quanto postulato teoricamente, sembra che l'approccio più corretto per il problema in esame sia quello PLS-SEM, che ha permesso di verificare e confermare molte delle relazioni inizialmente ipotizzate.

Tabella 45. Indici di bontà di adattamento dei dati

Indicatori	Valori	Valori di riferimento
Chi-quadro	1149.26 (P=0.00000)	~ 0
Goodness of Fit Index GFI	0.907	> 0.95
Adjusted Goodness of Fit Index AGFI	0.871	> 0.95
Root Mean Square Error of Approximation (RMSEA)	0.0864	< 0.08
Root Mean Square Residual (RMR)	0.0475	<0.08
Expected Cross – Validation Index, ECVI	0.892	< ECVI Modello saturo = 0.242 < ECVI Modello di indipendenza = 4.067

5.5 Modelli di scelta convenzionali ed ibridi

In seguito all'analisi dei dati, contestualmente allo studio con i modelli ad equazione strutturale, sono stati specificati, calibrati e validati diversi modelli di scelta. In particolare in questo paragrafo si riportano i principali risultati dei migliori modelli di scelta discreta e ibridi ottenuti. Queste categorie di modelli sono state implementate per investigare sia le scelte di utilizzo in ambito urbano, dichiarate nella prima fase dell'indagine, sia le scelte di acquisto, dichiarate nella terza fase dell'indagine.

In particolare discuteremo i risultati di:

- Diversi modelli logit multinomiali implementati per modellare la scelta di utilizzo tra veicoli a diversa alimentazione; La principale differenza tra questi modelli, a meno dei risultati ottenuti, risiede nell'insieme di scelta preso in considerazione. Sono stati specificati, calibrati e validati diversi modelli considerando le alternative di scelta indipendentemente, così come proposte agli intervistati, e variamente accorpate, al fine di verificare quale soluzione potesse risultare la migliore da un punto di vista modellistico e potesse effettivamente riprodurre l'insieme di scelta percepito dagli utenti; Come si vedrà il migliore tra questi modelli semplici è quello che prevede un insieme a tre alternative, in cui a gruppi di due, vengono accorpate diverse alimentazioni. Sulla scorta di questi primi risultati ottenuti non solo sono state calibrate le successive categorie di modelli di scelta, ma anche la nuova metodologia integrativa trattata con la modellazione ad equazioni strutturali, discussa nel paragrafo precedente.
- Il miglior modello logit multinomiale implementato per modellare la scelta di acquisto tra veicoli a diversa alimentazione.
- Diversi modelli di scelta ibridi logit multinomiali implementati per modellare la scelta di acquisto tra veicoli a diversa alimentazione; tali modelli si pongono come dei modelli già avanzati rispetto ai modelli di scelta discreta convenzionali. In particolare le diverse categorie si distinguono per le variabili latenti introdotte nella funzione di utilità, sia in maniera singola che in maniera simultanea.

Un aspetto sul quale si vuole porre attenzione prima di passare alla presentazione dei risultati ottenuti riguarda il campione di riferimento utilizzato per questi modelli. Innanzitutto siccome in questi modelli non viene preso in considerazione il processo evolutivo, la pulizia della base dati si è fermata ad un campione di 199 intervistati. Inoltre, per i modelli di scelta discreta non viene tenuto in conto delle teorie psicologiche investigate e pertanto non è necessario effettuare nessuna distinzione tra intenzione comportamentale e scelta effettiva degli utenti. Di conseguenza:

- I modelli MNL relativi alla scelta di utilizzo tra veicoli a diversa alimentazione sono stimati su un campione di 199 osservazioni;
- I modelli MNL relativi alla scelta di acquisto tra veicoli a diversa alimentazione sono stimati facendo riferimento ad un campione di 1592 osservazioni, tenendo conto del fatto che nella fase III dell'indagine ciascun utente ha risposto a 8 differenti scenari.

Inoltre va chiarito che i diversi modelli di scelta sono stati specificati, calibrati e validati con l'ausilio di due diversi software: Biogeme e Sublime Text. Sublime Text è un free source code editor (editor di codice sorgente gratuito) che supporta molti linguaggi di programmazione e nel quale le funzioni possono essere aggiunte dagli utenti con appositi plug-in. Il software è stato utilizzato per la specificazione dei modelli. Il pacchetto Biogeme (biogeme.epfl.ch), sviluppato da Michel Bierlaire (Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne) è un software open source progettato per stimare il valore dei parametri di vari modelli utilizzando il metodo della massima verosimiglianza. Negli anni sono state sviluppate diverse versioni del software, tutte contraddistinte da nomi di animali: Bison (bisonte), Python (pitone), Pandas (panda):

- BisonBiogeme è la prima versione progettata nel 2000 per stimare i parametri di una lista predeterminata di modelli a scelta discreta (quali logit, nested logit, cross-nested logit, probit binario, modelli con funzioni di utilità non lineari e modelli eteroscedastici). Si basa su un linguaggio formale e semplice per le specifiche del modello (Bierlaire, 2003).
- PythonBiogeme è stato progettato nel 2010 per modelli parametrici di uso generale. La specificazione del modello e della funzione di verosimiglianza si basa su un'estensione del linguaggio di programmazione Python, sebbene il pacchetto sia scritto in linguaggio C++. Una serie di modelli di scelte discrete è precodificata per un facile utilizzo. (Bierlaire 2016).

- PandasBiogeme è la terza versione del software, sviluppata nel 2018, ed è stata scritta quasi completamente in Python. Si basa sul pacchetto Python Data Analysis Library chiamato Pandas per la gestione dei dati. Le parti del software che richiedono un intenso lavoro di calcolo sono state codificate in C++, per motivi di efficienza (Bierlaire 2020). Per la stima dei modelli di scelta ibridi è stata utilizzato questo pacchetto del Software.

L'utilizzo del software presuppone la creazione di un file di dati (formato .dat) che contenga nella sua prima riga un elenco di etichette corrispondenti ai dati disponibili, mentre le righe successive devono contenere i corrispondenti valori numerici dei dati, relativi ad ogni intervistato.

Infine, prima di passare alla discussione dei risultati, andrebbero presentati tutte le variabili ottenute dall'elaborazione dei dati e che figureranno nei diversi modelli come attributi significativi, tuttavia, per una questione di compattezza si preferisce allegare gli stessi, in forma tabellare, nell'appendice C.

5.5.1 Scelta di utilizzo - Modelli logit multinomiali

5.5.1.1 MODELLO A: MNL con sei alternative

Innanzitutto è stato specificato calibrato e validato un modello Logit Multinomiale con sei alternative di scelta (1:Benzina, 2:Diesel, 3:GPL, 4:Metano, 5:Ibrida, 6:Elettrica) per investigare la scelta dell'alimentazione di auto preferita per l'utilizzo in ambito urbano. La Tabella 46 riassume i risultati del miglior modello ottenuto.

Tabella 46- Risultati per il modello MNL A

	Attributi	Benzina	Diesel	GPL	Metano	Ibrida	Elettrica
Costanti	ASC_2		+2.350 (+3.540)				
	ASC_3			+3.150 (+4.980)			
	ASC_4				+2.590 (+4.270)		
	ASC_5					+3.830 (+3.910)	
Socio-economici	BETA_Gen_M				-0.49 (-1.420)		-0.49 (-1.420)
	BETA_studente in cerca di occupazione			+2.230 (+1.950)		+2.230 (+1.950)	
	BETA_Patente_No						+3.080 (+3.340)
Caratteristiche dello spostamento e delle auto possedute	BETA_Park_Parco						+1.670 (+3.970)
	BETA Moto e motocicli in famiglia			-0.365 (-1.650)	-0.365 (-1.650)		
	BETA_Almeno una bifuel			+1.140 (+1.990)	+1.140 (+1.990)		
	BETA_Convenzionale					-0.893 (-1.60)	-0.893 (-1.60)
Caratteristiche importanti quando si acquista un'auto	BETA_Acc_4_5			-0.736 (-1.270)	-0.736 (-1.270)		
	BETA_Brand_5	+1.790 (+3.010)					
	BETA_Consumi_1_2	+2.080 (+3.130)					
	BETA_Vel_max_1						+1.160 (+1.640)
	BETA_Vel_max_4_5	+1.130 (+1.820)	+1.130 (+1.820)				
Dimensione norme sociali	BETA No opinione 1_2						0.664 (+1.250)
	BETA_Social_network_2						-0.604 (-1.570)

Dimensione tecnologia	BETA_No_fiduca_tec_5						+0.858 (+1.75)
	BETA_sistema_operativo_4						0.921 (+1.620)
	BETA_Tendenze_tecnologiche_4_5						1.230 (+2.810)
Dimensione Consumi	BETA_Bilancio_soldi_sett_1	+1.650 (+1.730)	+1.650 (+1.730)				
	BETA_Bilancio_soldi_sett_3_4_5						1.460 (+1.940)
	BETA_Off_volantini_1_2	0.912 (+1.180)					
	BETA_Off_volantini_3_4						-0.876 (-2.270)
	BETA_Offerte_gest_tel_2						-1.020 (-2.260)
	BETA_Riformimento_carburante_4_5						+0.762 (+1.520)
	BETA_Spesa_economica_1_2_3		-1.570 (-2.330)				
Dimensione ambiente	BETA_Borraccia_si_5						0.788 (+2.070)
	BETA_Diff_rifiuti_2		3.080 (+3.090)				
	BETA_Piste_ciclabili_pedonali_1_2	0.927 (+1.080)	0.927 (+1.080)				
	BETA_Plastica_carta_riciclata_3			0.796 (+1.70)	0.796 (+1.70)		
	BETA_Rubinetto_aperto_3_4_5						0.854 (+1.40)
	BETA_decisioni_emissioni_3			1.830 (+2.190)	1.830 (+2.190)		
	BETA_tempo_parchi_1_2	0.503 (+1.010)	0.503 (+1.010)				
	BETA_tempo_parchi_5						1.1 (+1.650)

La Tabella 46 mostra gli attributi risultati significativi¹⁸ al termine del processo di “trial and error” effettuato quando si lavora con i modelli di scelta. Il valore del coefficiente associato a ciascun attributo ed il relativo t-test sono riportati in corrispondenza dell’alternativa di cui concorrono a definire la funzione

¹⁸ Come già chiarito nel capitolo 4 per la significatività di statistica si assume che il parametro abbia un livello di affidabilità almeno pari al 95% se risulta $t \geq \pm 1,96$, tuttavia, guardando le tavole statistiche relative alla normale standard, per valori di $t \geq \pm 0,9$ si ha comunque un’affidabilità del parametro in esame dell’60% e quindi, come spesso avviene in letteratura e nella pratica comune, ha senso considerare il parametro corrispondente già per questi valori di t.

di utilità. Come si evince, alcuni di essi compaiono nella funzione di utilità di più alternative, praticamente con lo stesso contributo.

Per quel che concerne le caratteristiche socio-economiche, tre attributi sono risultati significativi. In particolare emerge che il genere maschile gioca a sfavore della definizione di utilità delle alternative elettriche e metano. Spesso è riportato in letteratura questa relazione tra genere maschile e veicoli ad alimentazione elettrica (inoltre spesso si riscontra come il genere maschile sia meno propenso a sviluppare degli atteggiamenti green). Analogo ragionamento per valutare il segno di questo attributo quando concorre a definire la funzione di utilità della soluzione a metano non può essere condotto a causa della mancanza di studi che esaminano la scelta di questa alimentazione, tuttavia esso sembra coerente. In genere infatti, il genere maschile presenta una predisposizione maggiore verso alcune caratteristiche tecniche delle automobili, che spesso le soluzioni a metano non riescono a raggiungere in termini di performance.

L'essere uno studente in cerca di occupazione gioca positivamente nella definizione della funzione di utilità delle soluzioni GPL ed Ibrida. Questo risultato potrebbe essere interpretato in termini di consumi e di risparmio. La soluzione GPL è spesso considerata in Italia soprattutto per la sua possibilità di ridurre i consumi in termini monetari; analogamente, una soluzione ibrida potrebbe risultare come un investimento iniziale che possa in qualche modo essere recuperato in termini di consumi monetari in fase di utilizzo, pur restando meno vincolante di una soluzione "Full Electric".

Si evince, inoltre, che il non possesso della patente gioca a favore della definizione di utilità dell'alternativa elettrica. Questo risultato può essere interpretato abbastanza facilmente in quanto chi non possiede la patente, e quindi non guida non riesce pienamente a comprendere le principali barriere legate ai veicoli elettrici; ne consegue però che questa è un'importante informazione, perché il mercato elettrico potrebbe andare direttamente a catturare la curiosità dei neopatentati o comunque di coloro che si apprestano a patentarsi.

Passando ad analizzare le caratteristiche dello spostamento e delle auto possedute i risultati ottenuti sono interpretabili abbastanza facilmente. Innanzitutto si evince come la possibilità di parcheggiare la propria auto privata in un parco residenziale giochi a favore della definizione della funzione di utilità dell'alternativa elettrica. Questo è abbastanza comprensibile perché gli utenti che abitano in un parco residenziale spesso hanno a disposizione un parcheggio privato all'aperto, ma sempre a loro disposizione; inoltre è possibile fare richiesta per l'installazione di apposite wallbox di ricarica nei parchi e pertanto tali utenti possono mostrare una predisposizione maggiore verso l'utilizzo (o l'acquisto) di un veicolo elettrico.

Il possesso di moto e motocicli in famiglia riduce l'utilità associata ad entrambe le alternative bifuel. In genere le soluzioni bifuel vengono percepite in Italia come soluzioni che consentono un risparmio in termini di consumi e quindi di costi. Queste alimentazioni sono in genere destinate a rappresentare la soluzione dei diversi spostamenti sistematici degli utenti che, laddove possibile, vengono direttamente effettuati su moto o motocicli; Conseguentemente maggiore è il numero di motocicli e minore è l'utilità associata all'utilizzo di queste soluzioni.

Seguendo un ragionamento simile si evince anche come il possesso di una soluzione bifuel giochi a favore dell'utilizzo di queste categorie di automobili. Al contrario, chi possiede un'auto convenzionale è spesso scettico rispetto all'utilizzo di soluzioni diverse (soprattutto più recenti) e questo spiega perché tale attributo contribuisca a ridurre la funzione di utilità associata alle soluzioni Ibride ed Elettriche.

Relativamente ai fattori che incidono maggiormente nell'acquisto di una nuova auto questi sono stati introdotti nella funzione di utilità come variabili dummies. Come si evince, un'importanza elevata associata a velocità e brand determinano un β positivo nel concorrere a definire le funzioni di utilità delle alternative "Benzina" e/o "Diesel". La scarsa importanza attribuita alla velocità (Vel_max_1), invece, compare con un coefficiente β positivo nella specificazione dell'alternativa "Elettrica". La poca importanza attribuita ai consumi gioca, ovviamente, a favore dell'utilità dell'alternativa Benzina, mentre la forte importanza attribuita all'accelerazione (Acc_4_5) concorre a definire la funzione di utilità delle soluzioni Bifuel con segno negativo. L'interpretazione è la seguente: tanta più importanza si attribuisce all'accelerazione, tanto minore sarà l'utilità associata alle alternative bifuel (che chiaramente non riescono a garantire le stesse performance di una soluzione convenzionale).

Sono state poi introdotte in questi modelli di scelta anche le informazioni relative alle domande indirette volte ad investigare attitudini e percezioni degli utenti. In questo modello, anche se in maniera non

propriamente corretta (si pensi alla necessità di verificare sempre affidabilità e validità dei costrutti), tali informazioni vengono introdotte sotto forma di variabili dummies; in particolare, ogni risposta alle domande attitudinali viene trasformata in 5 o più (a volte si considerano delle somme che abbracciano categorie vicine) variabili categoriche che assumeranno valore 1 se rappresentative del grado di accordo corrispondente espresso dall'intervistato o 0 nel caso contrario. Vale la pena notare che le domande vengono interpretate in funzione della loro codifica, la cui chiave di lettura va interpretata rispetto alla dimensione investigata; tale codifica, se diversa dalla formazione originaria è riportata in appendice B, ma richiamata, di volta in volta, per una maggiore interpretazione dei risultati.

Esaminando queste informazioni, giocano un ruolo significativo due variabili relative alla dimensione investigata delle norme sociali.

In particolare, l'attributo "No_opinione_1_2" è rappresentativo dell'essere poco o per nulla d'accordo con l'affermazione "Mi interessano le opinioni degli altri"; questo significa che l'informazione che stiamo prendendo in considerazione è che lo scarso interesse delle opinioni altrui gioca a favore della definizione della funzione di utilità dell'alternativa elettrica. Analogamente l'attributo "Social_network_2" è rappresentativo dell'essere poco d'accordo con l'affermazione "Ciò che leggo sui social network influenza il mio comportamento e/o il mio stile di vita"; questo significa che l'informazione che stiamo prendendo in considerazione è che in genere il lasciarsi influenzare da quanto letto sui social network gioca a sfavore della definizione della funzione di utilità dell'alternativa elettrica. Entrambe le informazioni hanno la stessa chiave di lettura, infatti c'è ancora molto scetticismo nei confronti dei veicoli elettrici, quindi se non c'è interesse nelle opinioni negative altrui ci si avvicina alla soluzione elettrica, mentre, se ci si fa influenzare dalle idee altrui sui social network ci si allontana dalla soluzione elettrica.

Risultano poi significative anche 3 informazioni riconducibili alla dimensione della Tecnologia. Anche esse giocano tutte concorrendo positivamente alla definizione di utilità della alternativa elettrica, che è di fatti quella tecnologicamente più avanzata. Per il suddetto motivo è facile intuire perché il seguire con molta attenzione le tendenze tecnologiche globali (Tendenze_tecnologiche_4_5) e la predisposizione a comprare soluzioni più all'avanguardia a parità di sistema operativo (Sistema_operativo_4) contribuiscano positivamente alla definizione della funzione di utilità dei veicoli elettrici. Analogamente, l'attributo "No_fiduca_tec_5" è rappresentativo dell'essere molto d'accordo con l'affermazione "Ho piena fiducia nella tecnologia"; questo significa che l'informazione che stiamo prendendo in considerazione è che una maggiore fiducia riposta nella tecnologia spinge gli utenti a percepire una maggiore utilità per la soluzione tecnologica più avanzata.

Anche alcune informazioni estrapolate dalle domande relative alla dimensione consumi sono risultate significative. In particolare si evince come l'effettuare un bilancio dei soldi spesi in settimana contribuisca positivamente alla funzione di utilità dell'alternativa elettrica, mentre il non effettuarlo contribuisca positivamente alle funzioni di utilità delle alternative Diesel e Benzina, che sono le alternative con i maggiori consumi in termini monetari. L'attributo "Off_volantini_1_2" è rappresentativo dell'essere poco o per nulla d'accordo con l'affermazione "Scelgo i prodotti da comprare in base alle offerte sui volantini"; questo significa che l'informazione che stiamo prendendo in considerazione è che un'attenzione minore alle offerte determina l'attribuzione di una maggiore utilità all'alternativa Benzina (che consuma in più); tuttavia, un'attenzione di media entità, determina una minore utilità per l'alternativa ibrida.

L'attributo "Offerte_gest_tel_2" è rappresentativo dell'essere poco d'accordo con l'affermazione "Presto attenzione alle offerte proposte dalle compagnie telefoniche"; questo significa che l'informazione che stiamo prendendo in considerazione è che un'attenzione minore alle offerte determina l'attribuzione di una minore utilità per l'alternativa ibrida.

L'attributo "Rifornimento_carburante_4_5" è rappresentativo dell'essere molto o moltissimo d'accordo con l'affermazione "Faccio rifornimento senza controllare i prezzi esposti sui tabelloni davanti alle stazioni di servizio"; questo significa che l'informazione che stiamo prendendo in considerazione è che una maggiore attenzione alle spese determina l'attribuzione di una maggiore utilità all'alternativa Ibrida; Infine, l'attributo "Spesa_economica_1_2_3" è rappresentativo dell'essere da non d'accordo ad abbastanza d'accordo con l'espressione "Faccio la mia spesa quotidiana solo nei supermercati più economici"; questo significa che l'informazione che stiamo prendendo in considerazione è che un'attenzione variabile e non propriamente definita ai consumi determina una diminuzione della funzione di utilità associata all'alternativa Diesel.

Anche con riferimento alle domande poste per indagare la dimensione ambiente sono risultate

significative alcune informazioni. In particolare, una minore attenzione verso l'ambiente, che si rileva nel prestare poca attenzione alla differenziazione dei rifiuti, nel non riconoscere l'importanza di piste ciclabili e pedonali e nel non avere preferenza nel trascorrere del tempo all'area aperta, si traduce anche in un aumento dell'utilità associata alle soluzioni convenzionali più inquinanti, quali Diesel e Benzina. Al contrario, avere preferenza nel trascorrere del tempo all'area aperta, l'attenzione a portare sempre una borraccia con se e a chiudere il rubinetto si traducono in un incremento di utilità associato alle soluzioni elettrica o ibrida. Infine, un parere moderato riguardo la necessità di utilizzare oggetti riciclati o la necessità di prendere decisioni importanti circa le emissioni inquinanti si traduce in un incremento di utilità attribuita alle due soluzioni Bifuel.

Nella Tabella 47 vengono mostrati i dati statistici del modello in esame. Calcolando lo stimatore di massima verosimiglianza, ponendo pari a 0 tutti i β , si ottiene la Null log-likelihood che coincide con la Init log-likelihood quando non si inizializzano i coefficienti. Il valore della funzione obiettivo calcolato una volta trovati i β di ottimo, rappresenta la Final log-likelihood.

Tabella 47- Dati statistici per il modello A

MODELLO A	
Numero dei parametri stimati	36
Numero di osservazioni	199
Null log-likelihood:	-356.560
Init log-likelihood:	-356.560
Final log-likelihood:	-251.277
Likelihood ratio test:	210.565
Rho-square:	0.295
Adjusted rho-square:	0.189

5.5.1.2 MODELLO B1: MNL con tre alternative (convenzionale-bifuel-elettrificata)

Come si evince anche dai risultati del modello precedente, alcuni attributi talvolta ricoprono lo stesso ruolo nel definire la funzione di utilità di alternative differenti. Per tale motivo sono stati specificati calibrati e validati alcuni modelli in cui l'insieme di scelta è stato ridotto accorpando in gruppi le singole alternative proposte all'utente in fase di scelta.

Il modello che viene qui discusso deriva da un'aggregazione abbastanza dettata in tre alternative di scelta:

- ALT1: Convenzionale, comprendente le soluzioni Benzina e Diesel
- ALT2: Bifuel, comprendente le soluzioni Metano e GPL
- ALT3: Elettrificata, comprendente le soluzioni Ibrida plug-in e Full Electric

I risultati del miglior modello ottenuto si riportano nella Tabella 48

Tabella 48- Risultati del modello MNL B1

	Attributi	Convenzionali	Bifuel	Elettrificata
Costanti	ASC_2		+2.06 (+3.680)	
Conoscenza delle alimentazioni alternative	BETA_Metano_5		+0.970 (+2.24)	
Caratteristiche dello spostamento e delle auto possedute	BETA Moto e motocicli in famiglia		-0.278 (-1.23)	
	BETA_Periferia	+0.517 (+0.143)	+0.517 (+0.143)	

	BETA_Unisa_bus			-1.11 (-2.72)
Caratteristiche importanti quando si acquista un'auto	BETA_Acc_4_5			-0.929 (-1.80)
	BETA_Brand_5	+1.80 (+2.49)		
	BETA_Vel_max_4_5	+1.46 (+2.29)		
Dimensione norme sociali	BETA_No_opinione_2			1.19 (+1.27)
	BETA_Moda_trend_2_3			+0.573 (+1.37)
	BETA_Social_network_2			-0.813 (-2.27)
Dimensione tecnologia	BETA_No_fiducia_3_4_5			+1.93 (+2.80)
	BETA_Investimento_tecnologie_3_4_5			+1.33 (+1.71)
	BETA_Stanchezza_mentale_4			+0.407 (+1.17)
	BETA_Tendenze_tecnologiche_4_5			1.01 (+2.38)
Dimensione Consumi	BETA_Bilancio_soldi_sett_1	+2.57 (+2.46)		
	BETA_Spesa_economica_2_3	-0.782 (-1.32)		
Dimensione ambiente	BETA_Borraccia_si_1_2	+1.56 (+2.03)		
	BETA_Borraccia_si_5			+0.443 (+1.23)
	BETA_Diff_rifiuti_2	+3.54 (+2.92)		
	BETA_Plastica_carta_riciclata_3		0.988 (+2.10)	
	BETA_decisioni_emissioni_1_2_3		2.63 (+3.39)	
	BETA_tempo_parchi_1_2	0.953 (+1.62)		

La Tabella 48 mostra gli attributi risultati significativi per tale modello. Si procede, analogamente a quanto fatto prima, ad esaminare il ruolo svolto dai singoli attributi nel definire le funzioni di utilità delle diverse alternative; Minore o nessuna enfasi sarà data ai contributi che presentano pressappoco la stessa interpretazione che assumevano nel modello precedente.

Innanzitutto si nota come per questo modello non assumono un ruolo fondamentale le caratteristiche socio-economiche del campione, ma assume un ruolo la conoscenza di una delle alimentazioni alternative. In particolare si nota come la conoscenza delle auto a metano gioca a favore della definizione di utilità dell'alternativa Bifuel.

Passando ad analizzare le caratteristiche dello spostamento e delle auto possedute, i risultati ottenuti sono interpretabili abbastanza facilmente. Il possesso di moto e motocicli, analogamente a quanto avvenuto nel

modello precedente riduce l'utilità associata all' alternativa bifuel.

L'abitare in periferia, invece, contribuisce ad incrementare le funzioni di utilità associate alle alternative "Convenzionali" e "Bifuel". Questo è facilmente interpretabile pensando al fatto che una delle principali barriere alla diffusione dei veicoli elettrificati risiede proprio nella mancanza di infrastrutture per la ricarica. Quest'ultime, tra l'altro sono tanto più scarse quanto più ci si sposta nelle aree periferiche.

Inoltre, lo spostarsi sistematicamente con l'autobus per il motivo casa-studio o casa lavoro (Unisa_bus) riduce l'utilità associata alle soluzioni elettrificate; probabilmente questo aspetto trova la seguente interpretazione: in genere gli spostamenti sistematici che avvengono con la modalità autobus sono di lunghezza non trascurabile, e quindi non facilmente sostenibili con una soluzione elettrificata.

Relativamente ai fattori che incidono maggiormente nell'acquisto di una nuova auto, questi sono stati introdotti nella funzione di utilità come variabili dummies. Analogamente al caso precedente, un'importanza elevata associata a velocità e brand determina un β positivo nel concorrere a definire le funzioni di utilità delle alternative "Convenzionali". In questo modello la forte importanza attribuita all'accelerazione (Acc_4_5) concorre a definire la funzione di utilità della soluzione "elettrificata" con segno negativo. Tale segno non è propriamente corretto se pensiamo al fatto che le auto elettriche hanno performance di accelerazione da 0 a 100 Km/h migliori rispetto auto convenzionali, tuttavia, questo aspetto spesso non è noto agli utenti che, anzi, associano alle auto elettriche sempre performance tecniche inferiori; pertanto, pur non essendo tecnicamente corretto, questo segno è coerente con l'interpretazione di molti utenti che percepiscono una riduzione di performance e quindi di utilità associata alle alternative elettrificate.

Passando poi agli attributi ottenuti dalle domande poste per investigare i diversi fattori latenti si nota che, con riferimento alla dimensione norme sociali, giocano un ruolo significativo tre variabili. Gli attributi "No_opinione_2" e "Social_network_2" hanno la stessa interpretazione vista nel modello precedente. Vi è poi l'attributo "BETA_Moda_trend_2_3" che gioca a favore della definizione della funzione di utilità delle alternative elettrificate. Per molti utenti attualmente le alternative elettrificate rappresentano una sorta di moda; l'indeterminatezza dell'attributo in esame (che oscilla tra poco d'accordo e abbastanza d'accordo) rispecchia perfettamente la situazione attuale: soluzioni elettrificate viste come una moda ancora poco seguita, per via dello scetticismo verso la nuova tecnologia e per le principali barriere ancora difficili da superare.

Risultano poi significative anche 4 informazioni riconducibili alla dimensione della Tecnologia. Anche esse giocano tutte concorrendo positivamente alla definizione di utilità della alternativa elettrificata, che è di fatti quella tecnologicamente più avanzata. Per il suddetto motivo è facile intuire perché il seguire con molta attenzione le tendenze tecnologiche globali (Tendenze_tecnologiche_4_5) e l'interesse per gli investimenti nella tecnologia (Investimento_tecnologie_3_4_5) contribuiscano positivamente alla definizione della funzione di utilità di tale soluzione. Analogamente, l'attributo "No_fiducia_tec_3_4_5" è rappresentativo dell'essere molto d'accordo con l'affermazione "Ho piena fiducia nella tecnologia"; questo significa che l'informazione che stiamo prendendo in considerazione è che una maggiore fiducia riposta nella tecnologia spinga gli utenti a percepire una maggiore utilità per la soluzione tecnologica più avanzata. L'attributo "Stanchezza_mentale_4" è rappresentativo dell'essere molto d'accordo con l'affermazione "Non ho problemi di affaticamento mentale con l'uso di una nuova tecnologia"; questo significa che l'informazione che stiamo prendendo in considerazione è che una maggiore predisposizione verso la tecnologia (quando non la si percepisce come un ostacolo) contribuisce ad accrescere l'utilità associata alle soluzioni elettrificate (tecnologicamente più avanzate).

Anche alcune informazioni estrapolate dalle domande relative alla dimensione consumi sono risultate significative. In particolare si evince come in non effettuare un bilancio dei soldi spesi in settimana contribuisca positivamente alla funzione di utilità dell'alternativa convenzionale, che comprende le soluzioni con i maggiori consumi in termini monetari. L'attributo "Spesa_economica_2_3" è rappresentativo dell'essere da non d'accordo ad abbastanza d'accordo con l'espressione "Faccio la mia spesa quotidiana solo nei supermercati più economici"; questo significa che l'informazione che stiamo prendendo in considerazione è che un'attenzione variabile e non propriamente definita ai consumi determina una diminuzione della funzione di utilità associata all'alternativa convenzionale.

Anche con riferimento alle domande poste per indagare la dimensione ambiente sono risultate significative alcune informazioni. In particolare, una minore attenzione verso l'ambiente, che si rileva nel prestare poca attenzione alla differenziazione dei rifiuti, la non attenzione a portare una borraccia con sé

e la mancata preferenza relativa al trascorrere del tempo all'area aperta, si traduce anche in un aumento dell'utilità associata alle soluzioni convenzionali più inquinanti, quali Diesel e Benzina. Al contrario, l'attenzione di portare sempre una borraccia con se si traduce in un incremento di utilità associato alle alternative elettrificate. Infine, come nel caso precedente, un parere moderato riguardo la necessità di utilizzare oggetti riciclati o la necessità di prendere decisioni importanti circa le emissioni inquinanti si traduce in un incremento di utilità attribuita all'alternativa Bifuel.

Nella Tabella 49 vengono mostrati i dati statistici del modello in esame.

Tabella 49- Dati statistici per il modello B1

MODELLO B1	
Numero dei parametri stimati	23
Numero di osservazioni	199
Null log-likelihood:	-218.624
Init log-likelihood:	-218.624
Final log-likelihood:	-135.736
Likelihood ratio test:	165.775
Rho-square:	0.379
Adjusted rho-square:	0.274

5.5.1.3 MODELLO B2: MNL con quattro alternative (convenzionale-bifuel-ibrida-elettrica)

Il modello che viene qui discusso deriva da un'aggregazione delle soluzioni proposte in fase di indagine in 4 alternative di scelta:

- ALT1: Convenzionale, comprendente le soluzioni Benzina e Diesel
- ALT2: Bifuel, comprendente le soluzioni Metano e GPL
- ALT3: Ibrida
- ALT3: Elettrica

I risultati del miglior modello ottenuto si riportano nella Tabella 50.

Tabella 50- Risultati per il modello MNL B2

	Attributi	Convenzionale	Bifuel	Ibrida	Elettrica
Costanti	ASC_1	-1.80 (-2.93)			
Socio-economici	BETA_Gen_M		-0.709 (-1.91)		-0.709 (-1.91)
	BETA_studente_in_cerca_di_occupazione		+1.88 (+1.62)	+1.88 (+1.62)	
	BETA_Patente_No				+3.04 (+3.11)
Conoscenza delle alimentazioni alternative	BETA_Metano_5		+1.28 (+2.48)		
	BETA_Elettrica_5				+0.814 (+1.72)
Caratteristiche dello spostamento e delle auto possedute	BETA_Park_Parco				+1.48 (+3.84)
	BETA_Moto_e_motocicli_in_famiglia		-0.480 (-2.07)		

	BETA_Almeno_una_bifuel		+1.140 (+2.72)		
	BETA_Convenzionale			-1.63 (-3.04)	-1.63 (-3.04)
Caratteristiche importanti quando si acquista un'auto	BETA_Acc_4_5			-1.04 (-1.79)	
	BETA_Vel_max_4_5	+1.26 (+1.60)			
Dimensione norme sociali	BETA_No_opinione_1_2				+0.406 (+0.91)
	BETA_Social_network_2				-0.713 (-2.01)
	BETA_centro_attenzione_1				+0.534 (+1.38)
Dimensione tecnologia	BETA_No_fiduca_tec_5				+0.742 (+0.848)
	BETA_sistema_operativo_4				0.547 (+1.17)
	BETA_Tendenze_tecnologiche_4_5				0.848 (+2.18)
Dimensione Consumi	BETA_Bilancio_soldi_sett_1	+2.19 (+1.96)			
	BETA_Off_volantini_3_4			-0.845 (-2.18)	
	BETA_Offerte_gest_tel_2			-1.01 (-2.32)	
	BETA_Riformimento_carburante_4_5			+1.13 (+2.22)	
	BETA_Spesa_economica_2_3	-0.838 (-1.26)			
Dimensione ambiente	BETA_Borraccia_si_1_2	0.979 (+1.26)			
	BETA_Borraccia_si_5			0.754 (+2.070)	
	BETA_Diff_rifiuti_2	+3.78 (+3.50)			
	BETA_Diff_rifiuti_5			+0.462 (+1.20)	
	BETA_Plastica_carta_riciclata_3		+0.715 (+1.54)		
	BETA_Rubinetto_aperto_1	+3.16 (+2.49)			
	BETA_decisioni_emissioni_1_2_3		+2.54 (+1.90)		
	BETA_tempo_parchi_1_2	0.994 (+1.32)			
	BETA_tempo_parchi_5			1.1 (+1.53)	

La Tabella 50 mostra gli attributi risultati significativi per tale modello. Si procede, analogamente a quanto fatto prima, ad esaminare il ruolo svolto dai singoli attributi nel definire le funzioni di utilità delle diverse alternative; Minore o nessuna enfasi sarà data ai contributi che presentano pressappoco la stessa interpretazione che assumevano nel modello precedente.

Per quel che concerne le caratteristiche socio-economiche, i tre attributi risultati significativi concorrono a definire le funzioni di utilità esattamente come avviene nel modello A (a sei alternative) e pertanto vanno interpretati nello stesso modo precedentemente illustrato.

Anche in questo modello, assumono un ruolo la conoscenza di alimentazioni alternative. In particolare si evince che una perfetta conoscenza delle auto a metano gioca a favore della definizione di utilità dell'alternativa Bifuel, ed analogamente una perfetta conoscenza delle auto elettriche gioca a favore della definizione di utilità dell'alternativa Elettrica.

Anche gli attributi significativi relativi alle caratteristiche dello spostamento e delle auto possedute sono risultati gli stessi che si avevano nel modello A e la loro interpretazione rimane invariata.

Relativamente ai fattori che incidono maggiormente nell'acquisto di una nuova auto ancora una volta la forte importanza attribuita all'accelerazione (Acc_4_5) concorre a definire la funzione di utilità delle soluzioni Bifuel con segno negativo, mentre un'importanza elevata associata alla velocità determina un β positivo nel concorrere a definire la funzione di utilità dell'alternativa "Convenzionale".

Anche gli attributi estrapolati dalle domande attitudinali restano coerenti in segno e interpretazione con i risultati discussi in riferimento ai modelli precedenti.

Nella Tabella 51 vengono mostrati i dati statistici del modello in esame.

Tabella 51- Dati statistici per il modello B2

MODELLO B2	
Numero dei parametri stimati	32
Numero di osservazioni	199
Null log-likelihood:	-275.873
Init log-likelihood:	-275.873
Final log-likelihood:	-195.988
Likelihood ratio test:	159.769
Rho-square:	0.290
Adjusted rho-square:	0.170

5.5.1.4 MODELLO B3: MNL con 3 alternative (convenzionale+bifuel-ibrida-elettrica)

Il modello che viene qui discusso deriva dall'aggregazione delle prime due alternative del modello precedente a formare un'unica alternativa. Si ha quindi un modello a tre alternative:

- ALT1: Convenzionale + Bifuel, comprendente le soluzioni Benzina, Diesel, Metano e GPL
- ALT2: Ibrida
- ALT3: Elettrica

I risultati del miglior modello ottenuto si riportano nella Tabella 52.

Tabella 52- Risultati per il modello MNL B3

	Attributi	Convenzionale + Bifuel	Ibrida	Elettrica
Costanti	ASC_1	+3.25 (+2.58)		
	ASC_2		+3.48 (+2.55)	
Socio-economici	BETA_Gen_M	-0.980 (-1.99)		-0.980 (-1.99)
	BETA_studente			+0.936 (+1.60)
	BETA_Patente_No			+2.09 (+1.99)
Caratteristiche dello spostamento e delle auto possedute	BETA_Autoveicoli_in_famiglia	+0.320 (+1.41)		
	BETA_Ridosso_zona_centrale			0.787 (+2.14)
	BETA_Unisa_bus		-1.43 (-3.33)	
Caratteristiche importanti quando si acquista un'auto	BETA_Acc_4_5		-1.20 (-1.86)	
	BETA_Brand_1	+2.12 (+2.23)		
	BETA_Emis_inq_5			+0.858 (+1.72)
	BETA_Vel_max_1			+1.60 (+1.82)
	BETA_Vel_max_4_5	+1.26 (+1.60)		
Dimensione norme sociali	BETA_No_opinione_1_2			0.843 (+1.73)
	BETA_Social_network_2			-0.885 (-2.41)
	BETA_centro_attenzione_1			0.843 (+1.73)
Dimensione tecnologia	BETA_No_fiduca_tec_5			+1.07 (+2.30)
	BETA_sistema_operativo_4			0.865 (+1.81)
	BETA_Tendenze_tecnologiche_4_5			1.00 (+2.30)
Dimensione Consumi	BETA_Pranzo_casa_4_5			-1.42 (-3.20)
	BETA_Off_volantini_3_4		-1.15 (-2.90)	
	BETA_Offerte_gest_tel_2		-1.05 (-2.07)	

	BETA Rifornimento carburante_4_5		+1.03 (+1.85)	
	BETA Spesa economica_2_3	-0.641 (-1.58)		
Dimensione ambiente	BETA Borraccia si_3_4	0.656 (+1.57)		
	BETA_Borraccia_si_5		0.909 (+2.11)	
	BETA_Diff_rifiuti_4			+0.975 (+2.22)
	BETA Piste ciclabili pedonali_1_2	+3.59 (+1.82)		
	BETA Rubinetto aperto_1	+1.05 (+2.49)		
	BETA decisioni emissioni_3	+1.29 (+1.81)		
	BETA tempo parchi_5		0.791 (+1.02)	
	BETA tempo parchi_5		1.1 (+1.53)	

La Tabella 52 mostra gli attributi risultati significativi per tale modello. Si procede, analogamente a quanto fatto prima ad esaminare il ruolo svolto dai singoli attributi nel definire le funzioni di utilità delle diverse alternative; Minore o nessuna enfasi sarà data ai contributi che presentano pressappoco la stessa interpretazione che assumevano nel modello precedente.

Per quel che concerne le caratteristiche socio-economiche, figura un nuovo attributo nella funzione di utilità dell'alternativa elettrica; Quest'ultimo, in maniera concorde a quanto riportato da molteplici studi di letteratura, concorre ad aumentare l'utilità associata alla suddetta alternativa. È infatti spesso riscontrato che una maggiore preparazione culturale degli utenti possa accrescere la propensione verso soluzioni che in qualche modo contribuiscano a contrastare le problematiche legate al traffico veicolare.

Passando ad analizzare le caratteristiche dello spostamento e delle auto possedute, i risultati ottenuti differiscono in termini di attributi risultati significativi (o di alternativa in cui giocano) rispetto ai modelli precedenti.

Innanzitutto si evince che un maggiore numero di automobili in famiglia contribuisce ad accrescere la funzione di utilità associata a soluzioni meno innovative. Questo risultato è abbastanza coerente se si pensa al fatto che le automobili ibride ed elettriche hanno prezzi di acquisto più elevati. L'esigenza di acquistare una nuova automobile in famiglia, laddove ve ne siano già altre, potrebbe quindi non essere compatibile con i prezzi associati alle soluzioni più innovative.

L'abitare a ridosso della zona centrale gioca un ruolo positivo nella definizione della funzione di utilità associata al veicolo elettrico; tale risultato sembrerebbe abbastanza coerente in quanto è spesso a ridosso del centro storico che si concentra la maggior infrastruttura di ricarica (che invece spesso risulta difficile da installare proprio al centro storico e carente in periferia).

Inoltre, lo spostarsi sistematicamente con l'autobus per il motivo casa-studio o casa lavoro (Unisa_bus) riduce l'utilità associata alla soluzione ibrida; probabilmente questo aspetto trova la seguente interpretazione: in genere gli spostamenti sistematici che avvengono con la modalità autobus sono di lunghezza non trascurabile, e quindi una soluzione ibrida risulterebbe comunque poco utilizzata nella sua parte elettrica; questo sposterebbe la scelta verso una soluzione con un prezzo di acquisto meno elevato. Relativamente ai fattori che incidono maggiormente nell'acquisto di una nuova auto, rispetto ai precedenti modelli, figura anche l'attributo "Emis_inq_5"; l'interpretazione è ovviamente immediata: tanto più si tiene conto delle emissioni di inquinanti in fase di acquisto, tanto più aumenta l'utilità associata all'alternativa elettrica, che ha emissioni nulle su strada.

Per quanto riguarda le informazioni relative alle dimensioni tecnologia e norme sociali queste restano invariate rispetto ai modelli precedenti.

Rispetto alla dimensione consumi figura l'attributo "Pranzo_casa_4_5" che concorre negativamente alla definizione della funzione di utilità dell'alternativa elettrica. Si potrebbe interpretare assumendo che questo attributo sia rappresentativo di una maggiore attenzione al risparmio, la qual cosa determinerebbe una diminuzione della funzione di utilità associata all'alternativa elettrica, che ha un prezzo di acquisto maggiore.

Sulla scorta dei risultati ottenuti dai precedenti modelli, restano interpretabili abbastanza facilmente i risultati relativi alla dimensione ambiente.

Si riportano in Tabella 53 le statistiche del modello.

Tabella 53- Dati statistici per il modello B3

MODELLO B3	
Numero dei parametri stimati	32
Numero di osservazioni	199
Null log-likelihood:	-218.624
Init log-likelihood:	-218.624
Final log-likelihood:	-155.382
Likelihood ratio test:	126.483
Rho-square:	0.289
Adjusted rho-square:	0.134

5.5.1.5 MODELLO B4: MNL con 2 alternative (convenzionale+bifuel-elettrificata)

Il modello che viene qui discusso deriva dall'aggregazione delle due alternative elettrificate del modello precedente a formare un'unica alternativa. Si ha quindi un modello a due alternative:

- ALT1: Convenzionale + Bifuel, comprendente le soluzioni Benzina, Diesel, Metano e GPL
- ALT2: Elettrificata, comprendente le soluzioni Ibrida + Elettrica

I risultati del miglior modello ottenuto si riportano nella Tabella 54.

Tabella 54- Risultati per il modello MNL B4

	Attributi	Convenzionale + Bifuel	Elettrificata
Costanti	ASC_1	+1.54 (+1.27)	
Conoscenza delle alimentazioni alternative	BETA_Metano_5	+1.01 (+2.09)	
Caratteristiche dello spostamento e delle auto possedute	BETA_Autoveicoli_in_famiglia	+0.246 (+1.11)	
	BETA_Ridosso_zona_centrale		0.690 (+1.84)
	BETA_Unisa_bus		-1.34 (-3.42)
	BETA_finoadiecim_km		0.624 (+1.67)
Caratteristiche importanti	BETA_Acc_4_5		-1.66 (-2.43)

quando si acquista un'auto	BETA_Brand_1	+1.51 (+2.16)	
	BETA_Vel_max_4_5	+0.679 (+1.19)	
Dimensione norme sociali	BETA_No_opinione_1_2		0.980 (+2.09)
	BETA_Social_network_2		-0.992 (-2.62)
	BETA_Moda_trend_2_3		0.463 (+1.01)
Dimensione tecnologia	BETA_No_fiduca_tec_3_4_5		+2.66 (+2.94)
	BETA_Tendenze tecnologiche_4_5		1.02 (+2.53)
Dimensione Consumi	BETA_Spesa_economica_1_2_3	-0.765 (-1.85)	
Dimensione ambiente	BETA_Borraccia_si_3_4	1.03 (+2.70)	
	BETA_Piste_ciclabili_pedonali_1_2	+3.13 (+2.55)	
	BETA_Plastica_carta_riciclata_4	-0.585 (-1.57)	
	BETA_decisioni_emissioni_3	+1.47 (+2.05)	

Come si evince dalla Tabella 54, gli attributi che concorrono a definire le utilità delle due alternative sono pressappoco gli stessi che comparivano nei precedenti modelli, coerentemente con il segno e l'alternativa in cui figuravano, per cui l'interpretazione resta invariata.

In questo modello risulta significativo anche l'attributo "finoadieci_km" che contribuisce positivamente alla definizione della funzione di utilità dell'alternativa elettrificata. Tale risultato è coerente con il fatto che queste tipologie di automobili siano effettivamente pensate per un loro utilizzo in ambito urbano, e quindi per spostamenti con una distanza percorsa ridotta.

Si riportano quindi le statistiche del modello in Tabella 55.

Tabella 55- Dati statistici per il modello B4

MODELLO B4	
Numero dei parametri stimati	19
Numero di osservazioni	199
Null log-likelihood:	-137.936
Init log-likelihood:	-137.936
Final log-likelihood:	-100.007
Likelihood ratio test:	75.859
Rho-square:	0.275
Adjusted rho-square:	0.137

5.5.1.6 CONFRONTO TRA I MODELLI E MODELLO DI BENCHMARK

La Tabella 56 riporta un riassunto delle statistiche dei modelli visti fin ora.

Tabella 56- Confronto tra le statistiche dei modelli

	A	B1	B2	B3	B4
Numero dei parametri stimati	36	23	32	32	19
Numero di osservazioni	199	199	199	199	199
Null log-likelihood:	-356.560	-218.624	-275.873	-218.624	-137.936
Init log-likelihood:	-356.560	-218.624	-275.873	-218.624	-137.936
Final log-likelihood:	-251.277	-135.736	-195.988	-155.382	-100.007
Likelihood ratio test:	210.565	165.775	159.769	126.483	75.859
Rho-square:	0.295	0.379	0.290	0.289	0.275
Adjusted rho-square:	0.189	0.274	0.170	0.134	0.137

Come si evince dalla Tabella 56, il modello che consente di avere una maggiore riproducibilità dei dati osservati è il modello B1 in cui le alternative di scelta sono state aggregate in tre alternative: Convenzionale, Bifuel, Elettrificata.

Questa aggregazione, d'altro canto, sembra abbastanza coerente ed intuitiva, soprattutto in relazione alle informazioni raccolte durante la fase di indagine. Per tale motivo tutti i successivi modelli di scelta (ed anche i modelli ad equazioni strutturali discussi in precedenza) vengono stimati considerando un insieme di scelta con le suddette tre alternative.

Tale modello, è di per sé, il modello di scelta discreta più semplice stimabile, ed in quanto tale potrebbe essere utilizzato come modello di benchmark. Tuttavia, sebbene l'esperienza comune spesso ha portato all'introduzione di "attributi di natura psicologia" direttamente all'interno delle funzioni di utilità, per quanto chiarito con riferimento all'importanza di effettuare un'analisi fattoriale confermativa per testare la validità e l'affidabilità dei costrutti latenti, non si ritiene corretto utilizzare direttamente questo modello come modello di benchmark.

Un modello logit multinomiale a tre alternative è stato quindi calibrato nuovamente, senza prendere in considerazione questa tipologia di attributi. I risultati del miglior modello ottenuto sono riportati Tabella 57.

Tabella 57- MNL per scelta di utilizzo in ambito urbano

Attributi		Convenzionale	Bifuel	Elettrificata
Costanti	ASC_1	-7.02 (-4.41)		
	ASC_2		-3.32 (-4.26)	
Socio-economici	b_studente_e_occupato			-1.10 (-1.40)
	b_componenti del nucleo familiare	0.572 (+1.85)		
Caratteristiche dello spostamento e delle auto possedute	b_Almeno_una_bifuel		0.400 (+1.17)	
	b_Casa-svago_auto			-1.92 (-2.47)
	b_Periferia			-0.375 (-1.14)
	b_oltre_trenta_km	0.764 (+1.32)		
	b_Unisa_bus			-0.929 (-2.94)

Come si evince dalla Tabella 57 l'utilità associata all'alternativa convenzionale è tanto maggiore quanto è maggiore il numero di autoveicoli presenti in famiglia ed è maggiore quando si ha la necessità di compiere spostamenti quotidiani di lunghezza maggiore ai 30km (l'interpretazione di questi contributi è stata discussa con riferimento ai modelli precedenti e quindi non ci si sofferma nuovamente). Vi è tuttavia una costante specifica dell'alternativa cui è associato un coefficiente di segno negativo. Tale coefficiente assume valore molto elevato rispetto agli attributi che concorrono a definire la funzione di utilità per questa alternativa, sottolineando che vi è qualcosa che potrebbe allontanare gli utenti da questa soluzione, ma che l'analista non è in grado di captare con tale modello.

La funzione di utilità dell'alternativa Bifuel è associata al solo possesso di una soluzione Bifuel; chi possiede una bifuel è quindi soddisfatto da tale soluzione e associa al suo utilizzo un incremento di utilità. Anche in questo caso figura una costante specifica dell'alternativa accompagnata da un coefficiente con segno negativo e di entità non propriamente trascurabile (anche se ridotto rispetto a quello che si ha per l'alternativa convenzionale).

Infine, la funzione di utilità dell'alternativa elettrificata viene definita tramite 4 attributi. Come anticipato con riferimento ad uno dei modelli precedenti, in genere l'essere uno studente contribuisce ad incrementare l'utilità associata ad una soluzione elettrificata, tuttavia l'essere sia studente che occupato potrebbe in qualche modo sovvertire questa situazione, e questo spiegherebbe il segno negativo che si ottiene per questo modello. Di fatti, in genere gli studenti che sono spesso anche lavoratori lo fanno per necessità o comunque per ricercare una maggiore disponibilità economica che potrebbe essere poco compatibile con gli elevati prezzi di acquisto delle soluzioni elettrificate. Spostarsi per il motivo casa-svago con l'auto determina una diminuzione della funzione di utilità associata all'alternativa elettrificata. Questa scelta, infatti, potrebbe essere legata ad una vera e propria passione per le automobili che, come spesso riportato in letteratura, contrasta con la scelta di un veicolo elettrificato. Anche l'abitare in periferia e lo spostarsi per il motivo casa-studio o casa-lavoro con il bus contribuiscono a ridurre l'utilità delle soluzioni elettrificate, in accordo a quanto già detto precedentemente.

Emerge quindi che gli attributi presi in considerazione fin ora, da soli, non sono sufficienti ad individuare qualcosa che possa incrementare l'utilità associata alla scelta di utilizzo di un veicolo elettrificato in ambito urbano. Tali attributi potrebbero quindi risultare "latenti" e non direttamente misurabili.

Il ruolo dei suddetti attributi potrebbe poi risultare ancora maggiore in un contesto di scelta di acquisto piuttosto che di utilizzo. Per tale motivo, ed anche per non incorrere in maggiori problemi di identificazione che si riscontrano quando si calibrano modelli ibridi su campioni più piccoli, i fattori latenti sono stati direttamente investigati facendo riferimento alla scelta di acquisto e non a quella di utilizzo.

5.5.2 Scelta di acquisto - Modelli logit multinomiali

In questo paragrafo si discutono i risultati del miglior modello logit multinomiale ottenuto per poter modellare la scelta di acquisto tra categorie di automobili differenziate.

In tal caso il modello viene specificato tenendo conto degli attributi relativi alle caratteristiche socioeconomiche, di spostamento e delle automobili possedute dagli utenti e ricavati nella prima fase dell'indagine, e di due attributi che caratterizzano gli scenari di scelta, ovvero il luogo di ricarica e le caratteristiche di costo mensile delle diverse alternative (ottenute mediando i costi delle alternative che vengono aggregate).

I risultati del miglior modello ottenuto si riportano nella Tabella 58.

Tabella 58- Risultati del modello MNL per la scelta di acquisto

Attributi		Convenzionali	Bifuel	Elettrificata
Costanti	ASC_1	-0.462 (-2.16)		
	ASC_3			2.78 (10.40)
Socio-economici	b_Gen_M		-0.506 (-2.22)	-0.588 (-2.63)
	b_meno_di_25			-0.567 (-4.04)
	b_auto_su_patenti			-0.900 (-4.20)
Caratteristiche dello spostamento e delle auto possedute	b_Moto_e_motocicli_in_famiglia	-0.277 (-2.21)		
	b_Almeno_una_bifuel		0.804 (+6.88)	
	b_centro_storico	-0.502 (-1.68)		
	b_casa_svago_piedi	-1.91 (-1.88)		
	b_oltre_trenta_km	0.781 (+4.00)		
	b_Unisa_car		0.550 (+4.66)	
Scenari di acquisto	b_Ricarica_ovunque			0.769 (+6.98)
	b_Costo_mensile_totale	-0.0150 (-6.17)	-0.0150 (-6.17)	-0.0150 (-6.17)

Come si evince dalla presente tabella l'utilità associata all'acquisto dei veicoli convenzionali è tanto maggiore al crescere dei km percorsi giornalmente, mentre essa decresce all'aumentare dei motorini posseduti (si ha già un modo alternativo con cui spostarsi), con il vivere nel centro storico e se ci si sposta a piedi per il motivo casa-svago.

La percorrenza giornaliera di lunghe distanze gioca sicuramente a favore di questa alternativa, per la quale non si percepiscono limiti associati alla necessità di dover fare più spesso un pieno (né in termini di tempistiche richieste, né in termini di disponibilità di infrastrutture dedicate). Il vivere nel centro storico costituisce una disutilità associata a questa alternativa; di fatti spesso nei pressi del centro storico si trovano ZTL accessibili solo con veicoli elettrici. Anche lo spostarsi a piedi per il motivo casa-svago può costituire una disutilità. Diverse possono essere le interpretazioni di questo risultato. Ad esempio, si potrebbe decidere di spostarci per il motivo casa svago a piedi perché si abita in una zona dotata di tutto (tipicamente il centro città) e questo ricondurrebbe allo stesso limite dei veicoli convenzionali discusso con riferimento all'attributo "centro storico". Inoltre questo risultato potrebbe anche suggerire una "scarsa passione" per la guida e le automobili, che in genere risulta uno degli aspetti principali che legano gli utenti alle auto convenzionali.

L'utilità associata all'acquisto di un veicolo bifuel è influenzata dal possesso stesso di un veicolo bifuel e dallo spostamento per il motivo casa-lavoro in auto. In tal senso una soluzione bifuel potrebbe rappresentare una soluzione di compromesso in termini di consumi (e quindi di risparmio) e di percorrenza.

L'utilità legata all'acquisto di un veicolo elettrico, invece, decresce all'aumentare del rapporto tra numero di automobili e numero di patentati nel nucleo familiare, e in funzione dell'età. L'acquisto di una nuova automobile in famiglia talvolta è necessario per poter far fronte alle esigenze di spostamento di tutti; pertanto un valore maggiore del rapporto tra numero di automobili e numero di patentati in famiglia potrebbe denotare una maggiore necessità di automobile, che pertanto potrebbe ricondursi ad una alternativa meno costosa.

In genere i ragazzi giovani hanno una certa tendenza verso le innovazioni e pertanto ci si aspetta anche una maggiore propensione verso le soluzioni elettrificate; tuttavia, per la fascia di età 18-25 questa alternativa potrebbe non essere la soluzione ideale o perché alle prime esperienze di guida si preferiscono automobili più vecchie o perché, al contrario, si sviluppa sin da subito una passione per la guida che, per quanto detto già prima, spinge gli utenti a non preferire le soluzioni elettrificate. In entrambi i casi è comunque possibile interpretare il contributo negativo che la fascia di età inferiore ai 25 anni determina nella definizione della funzione di utilità di una soluzione elettrificata.

L'essere uomo, inoltre, risulta una disutilità sia per i veicoli elettrici che per i veicoli bifuel, in accordo a quanto già trovato in precedenti modelli.

Il costo mensile totale, chiaramente risulta essere una disutilità per tutte e tre le alternative, mentre la possibilità di poter ricaricare l'automobile elettrica ovunque gioca a favore dell'acquisto della stessa.

La Tabella 59 riporta le statistiche per il suddetto modello.

Tabella 59- Dati statistici per il MNL di scelta di acquisto

MNL di scelta di acquisto	
Numero dei parametri stimati	13
Numero di osservazioni	1592
Null log-likelihood:	-1748.991
Init log-likelihood:	-1748.991
Final log-likelihood:	-1333.230
Likelihood ratio test:	831.522
Rho-square:	0.238
Adjusted rho-square:	0.230

5.5.3 Scelta di acquisto - modelli ibridi

Si è poi passati ad investigare il ruolo delle variabili latenti per modellare la propensione all'acquisto. In particolare, le variabili latenti prese in considerazione in questa fase sono indipendenti dal ricorso alla teoria del comportamento pianificato.

È stato ipotizzato ed esplorato il contributo di sei eventuali variabili latenti:

- LV1: Percezione dei consumi

- LV2: Attitudini verso l'ambiente
- LV3: Attitudini verso la tecnologia
- LV4: Norme Sociali
- LV5: Percezione dei vantaggi dei veicoli elettrici
- LV6: Percezione degli svantaggi dei veicoli elettrici

Le prime sei variabili latenti vengono investigate a partire dalle domande attitudinali condotte nella prima fase dell'indagine, mentre le ultime sono associate alle domande attitudinali raccolte nella sezione "vantaggi relativi" condotta nella terza fase dell'indagine.

La prima operazione da compiere è stata quella di verificare se vi fosse attinenza tra questi costrutti latenti ipotizzati e gli indicatori del questionario che dovevano esserne una manifestazione. Per tale motivo si è reso necessario effettuare una analisi fattoriale confermativa volta a definire l'affidabilità e la validità dei costrutti ipotizzati, nonché gli indicatori che risultassero effettivamente significativi alla loro rappresentazione. La Tabella 60 riassume i costrutti risultati affidabili e validi, gli indicatori che li rappresentano e i relativi valori di saturazione del costrutto.

Si specifica ancora una volta che questi risultati sono parzialmente diversi da quelli ottenuti in fase di implementazione del modello ad equazioni strutturali perché il campione assunto come riferimento è leggermente differente.

Tabella 60- Variabili latenti valide e affidabili e relativi indicatori e valori di saturazione

Variabile latente		Domanda psicoattitudinale	Indicatore	Sat.
LV2	Attitudini verso l'ambiente	Appena possibile, trascorro il mio tempo libero nei parchi o nelle aree verdi pubbliche per respirare aria pulita.	I22_tempo_libero_parchi	0,771
		Ogni città dovrebbe avere piste ciclabili e percorsi pedonali per limitare l'uso dell'automobile	I23_piste_ciclabili	0,623
		Lascio sempre aperto il rubinetto quando mi lavo i denti (codificata come Chiudo sempre il rubinetto quando mi lavo i denti)	I26_rubinetto_aperto	0,750
LV4	Norme sociali	Ciò che leggo sui social network influenza il mio comportamento e/o il mio stile di vita	I41_Social_network	0,730
		Mi piace acquistare oggetti/vestiti/tecnologie per stare al centro dell'attenzione	I42_Moda_trend	0,692
		Mi piace acquistare oggetti/vestiti/tecnologie per stare al centro dell'attenzione	I46_centro_attenzione	0,813
LV5	Percezione dei vantaggi degli EV	Quanto siete d'accordo con l'affermazione "I veicoli elettrici riducono l'inquinamento"?	I51_Potenziale_riduzione_inquinamento	0,560
		In fase di acquisto di un veicolo, quanto sono importanti per lei le seguenti caratteristiche? [Rispetto per l'ambiente]	I55_Rispetto_ambiente	0,906
		In fase di acquisto di un veicolo, quanto sono importanti per lei le seguenti caratteristiche? [Riduzione delle emissioni (CO2, PM10)]	I56_Riduzione_emissioni	0,925
		In fase di acquisto di un veicolo, quanto sono importanti per lei le seguenti	I57_Riduzione_inquinamento_acustico	0,796

		caratteristiche? [Riduzione inquinamento acustico]		
LV6	Percezione degli svantaggi degli EV	In fase di acquisto di un veicolo, quanto sono importanti per lei le seguenti caratteristiche? [Costo di acquisto]	I61_Costo_acquisto	0,441
		In fase di acquisto di un veicolo, quanto sono importanti per lei le seguenti caratteristiche? [Velocità massima]	I64_Vel_max	0,821
		In fase di acquisto di un veicolo, quanto sono importanti per lei le seguenti caratteristiche? [Varietà di marche e modelli]	I65_Varieta_marche_e_modelli	0,842

Il ruolo delle suddette variabili latenti è stato quindi testato all'interno dei modelli di scelta, testandone il contributo e la relativa significatività nel definire le funzioni di utilità, considerando ciascuna variabile sia in maniera singola sia contestualmente alle altre.

Dalle analisi effettuate, solo talune variabili latenti hanno condotto a dei modelli che in cui le stesse giocassero un ruolo significativo (del tutto o in parte). Di seguito, quindi, si riportano i risultati di tali modelli. Essi sono relativi a:

- Variabile latente "Attitudine verso l'ambiente" per la definizione della funzione di utilità dell'alternativa elettrificata
- Variabile latente "Percezione dei vantaggi degli EV" per la definizione della funzione di utilità dell'alternativa elettrificata
- Simultanea presenza di "Attitudine verso l'ambiente" e "Percezione dei vantaggi degli EV" per la definizione della funzione di utilità dell'alternativa elettrificata

5.5.3.1 Variabile latente "Attitudine verso l'ambiente"

In questo paragrafo si discutono i risultati del miglior modello ibrido logit multinomiale ottenuto per poter modellare la scelta di acquisto tra categorie di automobili differenziate, considerando l'inclusione della variabile latente "attitudine verso l'ambiente" nella funzione di utilità dell'alternativa elettrificata.

I risultati del miglior modello ottenuto si riportano nella Tabella 61.

Tabella 61- Risultati del modello MNL per la scelta di acquisto (Con Latente Z2)

Attributi		Convenzionali	Bifuel	Elettrificata
Costanti	ASC_1	-1.58 -(4.22)		
	ASC_2		-1.5 -(3.84)	
Socio-economici	b_auto_su_patenti			-1.01 -(4.83)
Caratteristiche dello spostamento e delle auto possedute	b_Moto_e_motocicli_in_famiglia	-0.218 -(1.68)		
	b_Almeno_una_bifuel		0.808 (6.85)	
	b_centro_storico	-0.517 -(1.85)		
	b_Unisa_car		0.291 (2.47)	
Scenari di acquisto	b_Ricarica_ovunque			0.762 (6.94)
	b_Costo_mensile_totale	-0.015 -(6.14)	-0.015 -(6.14)	-0.015 -(6.14)

Variabili latenti	b_Z2			0.403 (2.50)
Parametri del modello	δ_1		0.47 (18.8)	
	δ_2		1.12 (23.8)	

Come si evince dalla Tabella 61, gli attributi che concorrono a definire le funzioni di utilità sono pressappoco gli stessi che figuravano nel modello senza le variabili latenti; inoltre, gli attributi, oltre a figurare nelle stesse alternative di scelta presentano anche dei valori dei coefficienti quasi invariati. Questa situazione si riscontra soprattutto con riferimento agli attributi che caratterizzano gli scenari di scelta, a conferma del fatto che, attualmente, siano proprio fattori come il costo dei veicoli e le infrastrutture di ricarica a rappresentare degli elementi cardini per la scelta di acquisto (e che pertanto sono associati a valori che si mantengono quasi costanti nei diversi modelli che vengono calibrati).

Infine, con riferimento alle informazioni riportate nella Tabella 61, risulta evidente come la variabile latente "attitudine verso l'ambiente" contribuisca ad un incremento della funzione di utilità associata alla soluzione elettrificata.

Tale variabile latente è specificata facendo riferimento a diversi attributi socioeconomici e caratteristiche di viaggio o delle auto possedute dagli utenti. Le stime dei parametri associati ai suddetti attributi vengono riassunti nella Tabella 62, in cui si raccolgono anche i risultati della stima del modello di misurazione. Si noti che nel caso in esame, l'inizializzazione del modello per non incorrere in problemi di identificazione è avvenuta con riferimento all'indicatore I23.

Tabella 62- Risultati del modello strutturale e di misurazione per modello ibrido con variabile latente Z2

Z2: Attitudine verso l'ambiente			
Modello di misurazione			
$I2_{2_tempo_libero_parchi}$		$I2_{3_piste_ciclabili}$	$I2_{6_rubinetto_aperto}$
α_{22}	-1.95 (-9.46)	α_{23}	0
		α_{26}	-2.64 (-5.06)
λ_{22}	1.06 (9.21)	λ_{23}	1
		λ_{26}	2.42 (8.27)
v_{22}	0.82 (18.00)	v_{23}	1
		v_{26}	1.33 (14.40)
Modello strutturale			
β_{MEAN2}			+1.91(+16.10)
ω_2			+0.493 (+10.00)
b_Gen_M_2			-0.173 (-4.19)
b_Meno_di_25_2			-0.281 (-4.77)
b_Studenti_2			+0.347 (+3.39)
b_Convenzionale_2			-0.111 (-2.98)
b_autoveicoli_in_famiglia_2			-0.0629 (-2.50)
b_Casa_svago_bus_2			+1.39 (+5.56)
b_Unisa_bus_2			+0.251 (+4.77)
b_Unisa_carpool_2			+0.434 (+2.24)
b_oltre_trenta_30_km_2			+0.161 (+2.53)

Come si evince dalla Tabella 62, l'attitudine verso l'ambiente è meno forte per persone di genere maschile e per i ragazzi più giovani di 25 anni. Il possesso soltanto di veicoli convenzionali ed un maggiore numero di autoveicoli posseduti in famiglia individuano una minore attenzione verso l'ambiente; al contrario, gli spostamenti con il bus o con modalità carpool (e quindi con soluzioni più sostenibili rispetto all'utilizzo singolare dell'auto privata) sono rappresentativi di una maggiore attitudine verso l'ambiente. Anche gli spostamenti giornalieri elevati contribuiscono ad incrementare questa attitudine. Questo segno sembrerebbe anti-intuitivo, tuttavia è anche vero che spostamenti giornalieri su lunghe distanze per motivi sistematici, potrebbero anche essere il frutto di una specifica necessità e contribuire ugualmente alla consapevolezza dell'utente verso le problematiche ambientali. Infine, anche per il presente modello si riportano le statistiche riassuntive in Tabella 63.

Tabella 63- Dati statistici per il MNL di scelta di acquisto con Z2

MNL di scelta di acquisto	
Numero dei parametri stimati	29
Numero di osservazioni	1592
Init log-likelihood:	-11067.8
Final log-likelihood:	-6755.059
Likelihood ratio test (init):	8625.478
Rho-square:	0.39
Adjusted rho-square:	0.387

5.5.3.2 Variabile latente "Percezione dei vantaggi dei veicoli elettrici"

In questo paragrafo si discutono i risultati del miglior modello ibrido logit multinomiale ottenuto per poter modellare la scelta di acquisto tra categorie di automobili differenziate alimentate, considerando l'inclusione della variabile latente "Percezione dei vantaggi dei veicoli elettrici" nella funzione di utilità dell'alternativa elettrificata.

I risultati del miglior modello ottenuto si riportano nella Tabella 64.

Tabella 64- Risultati del modello MNL per la scelta di acquisto (Con latente Z5)

Attributi		Convenzionali	Bifuel	Elettrificata
Costanti	ASC_1	-1.64 -(6.67)		
	ASC_2		-1.37 -(4.87)	
Socio-economici	b_Gen_M			-0.317 -(2.49)
	b_auto_su_patenti			-0.737 -(3.32)
	b_autorita_decisionale		-0.445 -(3.66)	
Caratteristiche dello spostamento e delle auto possedute	b_Moto_e_motocicli_in_famiglia	-0.255 -(2.07)		
	b_Almeno_una_bifuel		0.763 (6.29)	
	b_Unisa_car		0.359 (2.95)	
Scenari di acquisto	b_Ricarica_ovunque			0.838 (7.15)
	b_Costo_mensile_totale	-0.015 -(6.19)	-0.015 -(6.19)	-0.015 -(6.19)
Variabili latenti	b_Z5			0.342 (5.07)

Parametri del modello	δ_1	1.34 (7.91)
	δ_2	2.19 (8.19)

Come si evince dalla Tabella 64, alcuni degli attributi che concorrono a definire le funzioni di utilità sono gli stessi che figuravano nel modello senza le variabili latenti o nel modello con variabile latente Z2; in tal caso gli attributi risultano coerenti con le precedenti specificazioni, in termini di segni e di alternative per le quali concorrono a definire le funzioni di utilità. Per tale motivo si passa ad analizzare soltanto gli attributi non discussi per i precedenti due modelli.

L'attributo "autorità decisionale" concorre, in questo modello, a rappresentare una disutilità per l'alternativa Bifuel. Tale attributo è rappresentativo del ruolo ricoperto dall'intervistato in casa quando di prospetta la possibilità di dover acquistare un'automobile. Qualora si prospettasse questa possibilità, gli intervistati percepirebbero una certa disutilità nella scelta di un veicolo bifuel.

Infine, con riferimento alle informazioni riportate nella tabella, si evince come la variabile latente "percezione dei vantaggi dei veicoli elettrici" contribuisca ad un incremento della funzione di utilità associata alla soluzione elettrificata.

Tale variabile latente è specificata facendo riferimento a diversi attributi socioeconomici e caratteristiche di viaggio o delle auto possedute dagli utenti. Le stime dei parametri associati ai suddetti attributi vengono riassunti nella Tabella 65, in cui si raccolgono anche i risultati della stima del modello di misurazione. Si noti che nel caso in esame, il processo "tial and error" legato alla calibrazione dei modelli di scelta ha determinato la rinuncia ad uno degli indicatori che contribuivano a definire la variabile latente; l'inizializzazione del modello per non incorrere in problemi di identificazione è avvenuta con riferimento all'indicatore I5₆.

Tabella 65- Risultati del modello strutturale e di misurazione per modello ibrido con variabile latente Z5

Z5: Percezione dei vantaggi dei veicoli elettrici			
Modello di misurazione			
<i>I51_Potenziale_riduzione_inquinamento</i>	<i>I56_riduzione_emissioni</i>	<i>I57_riduzione_inquinamento_acustico</i>	
α_{51} 1.53 (5.91)	α_{56} 0	α_{57} -1.03 (-7.51)	
λ_{51} 0.432 (10.80)	λ_{56} 1	λ_{57} 1 (14.90)	
ν_{51} 1.95 (8.21)	ν_{56} 1	ν_{57} 1.5 (6.22)	
Modello strutturale			
β_{MEANS}		3.54(6.56)	
ω_5		1.99(6.71)	
b_meno_di_25_5		-0.382 (-2.53)	
b_Studenti_5		+0.568 (+2.2)	
b_almeno_una_bifuel_5		-0.201 (-1.52)	
b_autoveicoli_in_famiglia_5		-0.539 (-4.37)	
b_moto_e_motocicli_in_famiglia_5		-0.168 (-2.34)	

Come si evince dalla Tabella 65 la percezione dei vantaggi dei veicoli elettrici è meno forte per gli utenti che hanno meno di 25 anni, per coloro i quali possiedono almeno una bifuel (infatti come visto nei precedenti modelli il possesso di una bifuel contribuisce ad un incremento di utilità dell'alternativa bifuel), per coloro i quali hanno a disposizione più autoveicoli o motocicli in famiglia (hanno quindi più alternative per spostarsi a disposizione e non sono interessati ad eventuali vantaggi apportati dalle soluzioni elettrificate). L'essere studente contribuisce ad una maggiore percezione dei vantaggi. Infine, anche per il presente modello si riportano le statistiche riassuntive in Tabella 66.

Tabella 66- Dati statistici per il MNL di scelta di acquisto con Z5

MNL di scelta di acquisto	
Numero dei parametri stimati	26
Numero di osservazioni	1592
Init log-likelihood:	-12234.39
Final log-likelihood:	-6847.46
Likelihood ratio test (init):	10773.86
Rho-square:	0.44
Adjusted rho-square:	0.438

5.5.3.3 Combinazione di variabili latenti

Sia le variabili risultate significative singolarmente, sia quelle che non sono risultate significative singolarmente, sono state combinate assieme per testarne la loro applicabilità congiunta all'interno di un unico modello di scelta.

Tuttavia la maggior parte di queste combinazioni (variabili anche al variare degli altri attributi che comparivano nella funzione di utilità, nel modello di misurazione e nel modello strutturale) ha prodotto dei modelli non soddisfacenti.

L'unico modello pressappoco soddisfacente è ottenuto dalla combinazione delle variabili latenti Z2 e Z5, tuttavia, come si evince dai dati riportati nella Tabella 67 e relativi alla sola parte di scelta del modello, la combinazione delle due variabili latenti determina una perdita di significatività della variabile latente Z2¹⁹.

Tabella 67- Risultati del modello MNL per la scelta di acquisto (Con latente Z2 + Z5)

Attributi		Convenzionali	Bifuel	Elettrificata
Costanti	ASC_3			1.68 (3.32)
Socio-economici	B_meno_di_25			-0.417 (-2.77)
	b_auto_su_patenti			-0.819 (-3.54)
	b_autorita_decisionale		-0.327 (-2.77)	
Caratteristiche dello spostamento e delle auto possedute	b_Moto_e_motocicli_in_famiglia	-0.275 (-2.36)		
	b_Almeno_una_bifuel		0.855 (7.55)	
	B_centro_storico	-0.524 (-1.87)		
	b_Unisa_car		0.359 (2.95)	

¹⁹ Come si evince dalla Tabella 67, alla variabile latente Z2 viene anche associato un segno negativo; tuttavia, guardando anche la parte strutturale del modello (non riportata data comunque l'esclusione del modello per via della perdita di significatività della variabile latente) la variabile latente stessa assume valore negativo, per cui il contributo alla funzione di utilità sarebbe comunque positivo.

Scenari di acquisto	b_Ricarica_ovunque			0.841 (7.13)
	b_Costo_mensile_totale	-0.0173 (-8.26)	-0.0173 (-8.26)	-0.0173 (-8.26)
Variabili latenti	b_Z2			-0.00868 (-0.04)
	b_Z5			0.342 (5.07)
Parametri del modello	δ_1		0.699 (29.4)	
	δ_2		1.34 (35.4)	

Di conseguenza, il risultato ottenuto fa già pensare che la variabile latente che effettivamente ricopra un ruolo nella definizione della funzione di utilità è quella rappresentativa della percezione dei vantaggi dei veicoli elettrici. D'altro canto a questa conclusione si perviene anche confrontando i risultati tra i tre modelli (senza variabile latente, con Z2 e con Z5). Si riporta per tale motivo la Tabella 68 con il confronto tra le statistiche.

Tabella 68- Dati statistici per il confronto tra modelli

	Senza latente	Z2	Z5
Numero dei parametri stimati	13	29	26
Numero di osservazioni	1592	1592	1592
Init log-likelihood:	-1748.991	-11067.8	-12234.39
Final log-likelihood:	-1333.230	-6755.059	-6847.46
Likelihood ratio test (init):	831.522	8625.478	10773.86
Rho-square:	0.238	0.39	0.44
Adjusted rho-square:	0.230	0.387	0.438

5.6 Modelli di scelta innovativi basati su paradigmi psicologici

Come sottolineato al capitolo due l'economia e la psicologia hanno una visione radicalmente diversa del processo decisionale. L'obiettivo principale degli psicologi è comprendere la natura degli elementi decisionali, come vengono stabiliti e modificati dall'esperienza e come determinano il comportamento. L'obiettivo principale degli economisti, invece, è la mappatura dagli input informativi alle scelte. Il paradigma economico prevede quindi la definizione di un modello comportamentale standard secondo cui gli utenti si comportano come dei consumatori che elaborano le informazioni a disposizione per formare delle credenze e che associano a ciascuna preferenza una utilità, per poi scegliere l'alternativa a cui attribuiscono la massima utilità. Quando si perseguono approcci modellistici più avanzati, ricorrendo come si è fatto ai modelli ibridi, è possibile tenere conto anche del ruolo delle attitudini nella definizione dell'utilità per le alternative di scelta.

I fattori latenti di cui si è tenuto in conto nei modelli visti fino a questo momento consistono in attitudini generiche degli utenti o in percezioni (relative quindi alle alternative di scelta) che potrebbero influenzare gli utenti nel contesto di scelta esaminato.

Tuttavia, molti studi di letteratura, che modellisticamente perseguono un approccio SEM, hanno dimostrato come la teoria del comportamento pianificato, eventualmente estesa tenendo conto di nuovi costrutti, possa essere adatta ad interpretare il fenomeno di scelta di soluzioni di mobilità più sostenibili. Chiaramente, il contributo interpretativo fornito dalla teoria del comportamento pianificato allo studio in esame è emerso già dalla modellazione ad equazioni strutturali; tuttavia si è voluto investigare se i costrutti postulati dalla teoria del comportamento pianificato (la cui formulazione deriva da un approccio psicologico al problema) potessero direttamente influenzare le scelte degli utenti.

Per tale motivo in questo paragrafo si discutono i risultati dell'integrazione dei costrutti postulati dalla teoria del comportamento pianificato nelle funzioni di utilità. In tal modo si va a combinare la visione economica del processo decisionale (l'utente continua a scegliere l'alternativa alla quale associa la massima utilità), con la visione psicologica (si considerano costrutti latenti estrapolati dalla teoria del comportamento pianificato, costruita sulla scorta di un approccio psicologico al processo decisionale). Anche in tal caso, siccome in questi modelli non viene preso in considerazione il processo evolutivo, la pulizia della base dati si è fermata ad un campione di 199 intervistati ed i modelli relativi alla scelta di acquisto tra veicoli a diversa alimentazione sono stimati facendo riferimento ad un campione di 1592 osservazioni, tenendo conto del fatto che nella fase III dell'indagine ciascun utente ha risposto a 8 differenti scenari.

Ulteriori avanzamenti vengono poi proposti al paragrafo 5.6.2 per cercare di integrare nei modelli di scelta non solo i costrutti della teoria del comportamento pianificato, ma anche le relazioni intercorrenti tra di essi. In tal caso si tiene in conto del processo evolutivo delle scelte degli utenti e quindi si considera la base dati costituita da 181 intervistati; inoltre si tiene conto separatamente dell'intenzione di acquisto e della scelta effettiva, per cui si fa riferimento a 1267 osservazioni (come meglio chiarito di seguito).

5.6.1 Scelta di acquisto – Modelli ibridi & Theory Of Planned Behavior

Innanzitutto, così come fatto per le altre variabili latenti, è stata effettuata un'analisi fattoriale confermativa, al fine di esaminare l'affidabilità e la validità dei costrutti presi in considerazione:

- LV7: Attitudine verso i veicoli elettrici
- LV8: Norme Soggettive
- LV9: Controllo comportamentale percepito

In tal caso, il ricorso ad un campione diverso rispetto a quello utilizzato per l'implementazione della modellazione ad equazioni strutturali, non ha prodotto variazioni nei costrutti da poter considerare, ovvero l'attitudine verso i veicoli elettrici ed il controllo comportamentale percepito.

La Tabella 69 riassume i costrutti risultati affidabili e validi, gli indicatori che li rappresentano e i relativi valori di saturazione del costrutto.

Tabella 69- Variabili latenti valide e affidabili e relativi indicatori e valori di saturazione

Variabile latente		Domanda psicoattitudinale	Indicatore	Sat.
LV7	Attitudine verso i veicoli elettrici	Ritengo che i veicoli elettrici possano essere vantaggiosi per l'ambiente	I71_EV_vantaggiosi_ambiente	0,617
		Sono affascinato dalla tecnologia dei veicoli elettrici	I72_Tecnologia_EV	0,771
		Ho un atteggiamento positivo nei confronti dell'uso dei veicoli elettrici.	I74_Att_positiva_EV	0,838
		Non mi piace l'idea di guidare un veicolo elettrico (codificata come <i>Mi piace l'idea di guidare un veicolo elettrico</i>)	I75_Avversione_guida_EV	0,739
LV9	Controllo Comportamentale Percepito	Sarà molto difficile ricaricare un'auto elettrica in casa (codificata come <i>Non sarà molto difficile ricaricare un'auto elettrica in casa</i>)	I92_difficolta_ricarica_a_casa	0,752
		Sarà impegnativo pianificare la ricarica di un'auto elettrica (codificata come <i>Non sarà impegnativo pianificare la ricarica di un'auto elettrica</i>)	I93_difficolta_piano_di_ricarica	0,696

	La nostra società offrirà gli strumenti e le tecnologie (sistemi di ricarica) necessari per l'utilizzo di un'auto elettrica.	I94_sviluppo _di_ mezzi_e_tec	0.665
	I tempi di ricarica di un'auto elettrica non sono compatibili con le mie attività lavorative e non (codificata come <i>I tempi di ricarica di un'auto elettrica sono compatibili con le mie attività lavorative e non</i>)	I95_tempi_ ric_elevati	0,753

Il ruolo delle suddette variabili latenti è stato quindi testato all'interno dei modelli di scelta, valutandone la significatività introducendo ciascuna variabile sia in maniera singola sia simultanea.

5.6.1.1 Variabile Latente "Attitudine verso i veicoli elettrici"

Dalla procedura di stima condotta è stato possibile validare un modello ibrido nel quale la variabile latente attitudine verso i veicoli elettrici gioca un ruolo significativo. I risultati del suddetto modello sono riportati nella Tabella 70.

Tabella 70- Risultati del modello MNL per la scelta di acquisto (Con latente Z7)

Attributi		Convenzionali	Bifuel	Elettrificata
Costanti	ASC_1	-1.12 -(6.34)		
	ASC_2		-0.615 -(2.7)	
Socio-economici	b_Gen_M			-0.377 -(3.06)
Caratteristiche dello spostamento e delle auto possedute	B_centro_storico	-0.57 (-2.03)		
Scenari di acquisto	b_Ricarica_ovunque			0.887 (+7.35)
	b_Costo_mensile_totale	-0,0173 (-6.49)	-0,0173 (-6.49)	-0,0173 (-6.49)
Variabili latenti	b_Z7			0.584 (+8.18)
Parametri del modello	δ_1		1.24 (15.8)	
	δ_2		2.42 (15.7)	

Come si evince dalla presente tabella il modello ottenuto è piuttosto semplice, con pochi attributi che concorrono a definire le diverse funzioni di utilità. Tuttavia, come si può notare nella tabella successiva diversi attributi socioeconomici o relativi alle caratteristiche degli spostamenti o alle caratteristiche delle auto possedute concorrono direttamente a definire la variabile latente "attitudine verso i veicoli elettrici". Quest'ultima, pensata con accezione positiva contribuisce con segno positivo a definire la funzione di utilità dell'alternativa elettrificata.

La Tabella 71 raccoglie i risultati della stima del modello strutturale e di misurazione; l'inizializzazione del modello per non incorrere in problemi di identificazione è avvenuta con riferimento all'indicatore I74.

Tabella 71- Risultati del modello strutturale e di misurazione per modello ibrido con variabile latente Z7

Z7: Attitudine verso i veicoli elettrici					
Modello di misurazione					
<i>I71_EV_vantaggiosi_ambiente</i>	<i>I72_Tecnologia_EV</i>	<i>I74_Att_positiva_EV</i>	<i>I75_Avversione_guida_EV</i>		
α_{71}	2.06 (11.7)	α_{72}	0	α_{74}	0 α_{75} 2.55 (12.4)
λ_{71}	0.686 (13.2)	λ_{72}	0.907 (35.3)	λ_{74}	1 λ_{75} 0.869 (14.5)
v_{71}	2.1 (14.41)	v_{72}	1.67 (15.00)	v_{74}	1 v_{75} 1.88 (11.6)
Modello strutturale					
β_{MEAN7}				5.61(10,8)	
ω_7				1.79(12,6)	
B_Gen_M_7				-0.218 (-1.94)	
b_convenzionale_7				-2.98 (-8.09)	
b_almeno_una_bifuel_7				-0.299 (-8.11)	
b_autoveicoli_in_famiglia_7				-0.308(-3,85)	
b_parco_residenziale_7				0.494(+3.93)	
b_centro_storico_7				-0.327(-2.36)	
b_casa_svago_auto_7				-0.294 (-1.90)	
b_Unisa_car_7				0.191(+1.49)	

Come si evince dalla Tabella 71, l'attitudine verso i veicoli elettrici è maggiore per coloro i quali vivono in un parco residenziale (possibilità di parcheggio e di ricarica) e per chi si muove per il motivo casa-studio o casa-lavoro in auto (questo potrebbe essere interpretato pensando a spostamenti di breve lunghezza, in contrasto all'interpretazione dell'attributo "unisa_bus" risultato significativo nei precedenti modelli).

Tale attitudine però è influenzata negativamente dal possesso delle altre tipologie di alimentazioni (il dato si può leggere come un'inerzia a cambiare), dal numero di autoveicoli in famiglia (più se ne hanno e meno si sviluppa un'attitudine verso una nuova tipologia, in quanto non se ne sente la necessità), dal vivere nel centro storico (dove è spesso difficile avere la possibilità di parcheggiare nei pressi di casa e quindi diventa impossibile usufruire della ricarica domestica per i veicoli elettrici) e dallo spostarsi per il motivo casa-svago con l'automobile (dato probabilmente legato alla passione per la guida).

Infine, anche per il presente modello si riportano le statistiche riassuntive in Tabella 72.

Tabella 72- Dati statistici per il MNL di scelta di acquisto con Z7

MNL di scelta di acquisto	
Numero dei parametri stimati	27
Numero di osservazioni	1592
Init log-likelihood:	-14869.48
Final log-likelihood:	-8194.043
Likelihood ratio test (init):	13350.87
Rho-square:	0.449
Adjusted rho-square:	0.447

5.6.1.2 Variabile latente “Controllo comportamentale percepito”

Dalla procedura di stima condotta è stato possibile validare un modello ibrido nel quale la variabile latente controllo comportamentale percepito gioca un ruolo significativo. I risultati del suddetto modello sono riportati in Tabella 73.

Tabella 73- Risultati del modello MNL per la scelta di acquisto (Con latente Z9)

Attributi		Convenzionali	Bifuel	Elettrificata
Costanti	ASC_1	-1.21 (-6.49)		
	ASC_2		-0.576 (-2.48)	
Socio-economici	b_Gen_M			-0.31 (-2.53)
Caratteristiche dello spostamento e delle auto possedute	B_centro_storico			0.389 (+2.4)
Scenari di acquisto	b_Ricarica_ovunque			0.822 (+7.13)
	b_Costo_mensile_totale	-0,016 (-6.32)	-0,016 (-6.32)	-0,016 (-6.32)
Variabili latenti	b_Z9			0.981 (+8.34)
Parametri del modello	δ_1		0.723 (24.7)	
	δ_2		1.67 (24.7)	

Come si evince dalla Tabella 73 il modello ottenuto è piuttosto semplice, con pochi attributi che concorrono a definire le diverse funzioni di utilità. Tuttavia, come si può notare nella Tabella 74 diversi attributi socioeconomici o relativi alle caratteristiche degli spostamenti o alle caratteristiche delle auto possedute concorrono direttamente a definire la variabile latente “controllo comportamentale percepito”. Quest’ultimo, pensato con accezione positiva, contribuisce con segno positivo a definire la funzione di utilità dell’alternativa elettrificata.

Si noti che l’unico attributo “nuovo” (rispetto ai precedenti modelli) che figura nella Tabella 73 è l’attributo “centro storico” che questa volta risulta significativo nell’accrescere la funzione di utilità dell’alternativa elettrificata. Sebbene, anche guardando i precedenti modelli risulta chiaro che il luogo in cui risiedere per percepire una maggiore utilità associata alle soluzioni elettrificate sia a ridosso del centro storico, anche vivere al centro, per certi casi potrebbe definire una preferenza per questa alternativa che, a differenza delle altre, è spesso autorizzata ad entrare in ZTL del centro storico.

La Tabella 74 raccoglie i risultati della stima del modello strutturale e di misurazione; l'inizializzazione del modello per non incorrere in problemi di identificazione è avvenuta con riferimento all'indicatore I95.

Tabella 74- Risultati del modello strutturale e di misurazione per modello ibrido con variabile latente Z9

Z9: Controllo comportamentale percepito							
Modello di misurazione							
<i>I92_EV_difficolta_ricarica_a_casa</i>	<i>I93_difficolta_piano_di_ricarica</i>	<i>I94_sviluppo_mezzi_e_tech</i>	<i>I95_tempi_ric_elevati</i>				
α_{92}	-0.18 (-1.96)	α_{93}	-0.785 (-10.5)	α_{94}	-0.709 (-8.25)	α_{95}	0
λ_{92}	1 (11.5)	λ_{93}	1.12 (14.4)	λ_{94}	0.983 (11.0)	λ_{95}	1
v_{92}	1.09 (21.1)	v_{93}	0.885 (18.9)	v_{94}	1.11 (20.9)	v_{95}	1
Modello strutturale							
β_{MEAN9}				1.62(7.89)			
ω_9				0.793(11.7)			
B_Gen_M_9				-0.116 (-2.2)			
b_Studenti_9				2.58 (2.45)			
b_meno_di_25_9				-0.368 (-4.09)			
b_componenti_del_nucleo_familiare_9				-0.0837 (-2.64)			
B_oltre_trenta_km_9				-0.149 (-1.75)			
b_casa_svago_auto_9				-0.285 (-3.42)			

Come si evince dalla Tabella 74 il controllo comportamentale percepito è influenzato negativamente da diversi fattori, quali l'essere uomo, avere meno di 25 anni, far parte di un nucleo familiare più grande (l'organizzazione familiare più complessa potrebbe influenzare la pianificazione delle operazioni di ricarica), lo spostarsi per più di trenta km al giorno (che determinerebbe un numero di ricariche a settimana superiore a 1) e lo spostarsi per il motivo casa-svago con l'auto (questo potrebbe essere direttamente legato alla passione per la guida e quindi ad una maggiore inerzia nel percepire come positiva una soluzione nuova e a cui in genere si associano minori performance). L'essere studenti, invece, aumenta il controllo comportamentale percepito, probabilmente perché l'operazione di ricarica di un veicolo elettrificato può risultare compatibile con i propri impegni.

Infine, anche per il presente modello si riportano le statistiche riassuntive in Tabella 75.

Tabella 75- Dati statistici per il MNL di scelta di acquisto con Z9

MNL di scelta di acquisto	
Numero dei parametri stimati	26
Numero di osservazioni	1592
Init log-likelihood:	-18052.82
Final log-likelihood:	-9002.681
Likelihood ratio test (init):	18100.27
Rho-square:	0.501
Adjusted rho-square:	0.500

5.6.1.3 Combinazione Di Variabili Latenti

Dalla procedura di stima condotta è stato possibile validare un modello ibrido nel quale le variabili latenti “attitudine verso gli EV” e “controllo comportamentale percepito” risultassero significative. I risultati del suddetto modello sono riportati nella Tabella 76.

Tabella 76- Risultati del modello MNL per la scelta di acquisto (Con latenti Z7 e Z9)

Attributi		Convenzionali	Bifuel	Elettrificata
Costanti	ASC_1	-0.593 (-5.64)		
Caratteristiche dello spostamento e delle auto possedute	B_centro_storico			0.434 (+2.6)
Scenari di acquisto	b_Ricarica_ovunque			0.918 (+7.84)
	b_Costo_mensile_totale	-0,017 (-9.97)	-0,017 (-9.97)	-0,017 (-9.97)
Variabili latenti	b_Z7			0.682 (+2.15)
	b_Z9			0.507 (+1.25)
Parametri del modello	δ_1	0.797 (38.7)		
	δ_2	1.73 (39.6)		

Come si evince dalla presente tabella il modello ottenuto è molto semplice, con pochi attributi che concorrono a definire le diverse funzioni di utilità. Entrambe le variabili latenti concorrono positivamente alla funzione di utilità dell’alternativa elettrificata. Inoltre, come si può notare nelle tabelle successive (Tabella 77, Tabella 78) diversi attributi socioeconomici o relativi alle caratteristiche degli spostamenti o alle caratteristiche delle auto possedute concorrono direttamente a definire le due variabili latenti.

Tabella 77- Risultati del modello strutturale e di misurazione per modello ibrido con variabile latente Z7

Z7: Attitudine verso i veicoli elettrici					
Modello di misurazione					
<i>I71_EV_vantaggiosi_ambiente</i>		<i>I72_Tecnologia_EV</i>		<i>I74_Att_positiva_EV</i>	<i>I75_Avversione_guida_EV</i>
α_{71}	1.36 (15.8)	α_{72}	0	α_{74}	0 α_{75} 1.63 (20)
λ_{71}	0.747 (14.1)	λ_{72}	0.931 (37.2)	λ_{74}	1 λ_{75} 0.999 (15.5)
v_{71}	1.47 (28.8)	v_{72}	1.2 (30.7)	v_{74}	1 v_{75} 1.32 (19.7)
Modello strutturale					
β_{MEAN7}					2.9(11.0)
ω_7					1.09(24)
B_Gen_M_7					-0.16 (-2.12)
b_convenzionale_7					-1.36 (-6.53)
b_almeno_una_bifuel_7					-1.15 (-5.37)
b_autoveicoli_in_famiglia_7					-0.205(-3.83)
b_parco_residenziale_7					0.405(+6.22)

Tabella 78- Risultati del modello strutturale e di misurazione per modello ibrido con variabile latente Z9

Z9: Controllo comportamentale percepito					
Modello di misurazione					
<i>I92_EV_difficolta_ricarica_a_casa</i>		<i>I93_difficolta_piano_di_ricarica</i>		<i>I94_sviluppo_mezzi_e_tech</i>	<i>I95_tempi_ric_elevati</i>
α_{92}	0	α_{93}	-0.609 (-9.78)	α_{94}	-0.749 (-10.5) α_{95} 0
λ_{92}	0.776 (25.7)	λ_{93}	0.867 (16.6)	λ_{94}	0.967 (16.1) λ_{95} 1
v_{92}	1.3 (33.5)	v_{93}	1.14 (29.3)	v_{94}	1.21 (31.8) v_{95} 1

<i>Modello strutturale</i>	
β_{MEAN9}	1.64(7.80)
ω_9	0.826 (17)
B_Gen_M_9	-0.214 (-3.36)
b_Studenti_9	+0.194 (+1.48)
b_meno_di_25_9	-0.24 (-2.91)
b_componenti_del_nucleo_familiare_9	-0.0774 (-2.3)
B_oltre_trenta_km_9	-0.232 (-2.64)
b_casa_svago_auto_9	-0.214 (-2.86)

Come si evince le caratteristiche che concorrono a definire i due fattori latenti sono pressappoco gli stessi rispetto a quelli che si avevano nei modelli a singole variabili latenti. Questo aspetto contribuisce alla robustezza dei modelli stessi.

Infine, anche per il presente modello si riportano le statistiche riassuntive in Tabella 79.

Tabella 79- Dati statistici per il MNL di scelta di acquisto con Z7 e Z9

MNL di scelta di acquisto	
Numero dei parametri stimati	39
Numero di osservazioni	1592
Init log-likelihood:	-30678.991
Final log-likelihood:	-15821.34
Likelihood ratio test (init):	29714.98
Rho-square:	0.484
Adjusted rho-square:	0.483

5.6.2 Scelta Di Acquisto- Modelli Ibridi Gerarchici

Un ulteriore step in avanti è stato mosso per cercare di colmare a pieno il gap tra approccio interpretativo ed approccio simulativo. Tale step consiste nell'implementare dei modelli ibridi gerarchici per riprodurre tutte le relazioni tra i costrutti ipotizzati nella TPB, o eventualmente nel nuovo quadro metodologico proposto (TPB+TTM), direttamente nel modello di scelta.

Data la complessità analitica del problema, avanzamenti in questa direzione sono stati effettuati procedendo per fasi.

Prima di presentare i risultati dei modelli calibrati è necessario rimarcare su quante osservazioni sono state effettuate queste stime. La costruzione della base dati per questi modelli è stata effettuata nell'ottica di voler arrivare a stimare, tramite dei modelli ibridi gerarchici, il quadro metodologico innovativo proposto. Di conseguenza, tenendo conto dell'ulteriore pulizia effettuata per tener conto del processo evolutivo delle scelte, il numero di intervistati si riduce a 181. A ciascuno di questi intervistati sono stati proposti 8 scenari di scelta, tuttavia, le risposte al primo scenario vengono utilizzate come indicatore dell'intenzione comportamentale, mentre quelle agli altri scenari vengono utilizzati per modellare le scelte degli utenti. Ne consegue, che i suddetti modelli sono calibrati su una base dati di 1267 (181x7) osservazioni.

Innanzitutto è stato calibrato un modello ibrido gerarchico che riproducesse la struttura della teoria del comportamento pianificato, considerando il costrutto del controllo comportamentale percepito, come nella prima versione della teoria, agente direttamente sull'intenzione comportamentale. Ovviamente è stato invece escluso dalla specificazione del modello il costrutto relativo alle Norme Soggettive, la cui affidabilità non è stata convalidata dai risultati dell'analisi fattoriale confermativa.

Il modello finale ottenuto (Tabella 80), con approccio di stima sequenziale, consente di individuare nei modelli ibridi gerarchici una buona soluzione per poter tenere in conto non solo dei costrutti formulati dalle teorie psicologiche ma anche delle relazioni intercorrenti tra di essi nella definizione delle funzioni di utilità. Chiaramente sono necessari ulteriori approfondimenti volti a valutare i risultati ottenibili anche con un approccio simultaneo.

Tabella 80- Risultati del modello MNL gerarchico con Z7 e Z9 – stima sequenziale

Attributi		Convenzionali	Bifuel	Elettrificata
Costanti	ASC_2		1.09 (+5.57)	
Socio-economici	b_Gen_M			-0.384 (2.04)
Caratteristiche dello spostamento e delle auto possedute	b_convenzionale		-0,862 (-5.41)	
	b_oltre_trenta_km			-0,226 (-1.08)
Scenari di acquisto	b_Ricarica_ovunque			1.04 (+6.6)
	b_Costo_mensile_totale	-0,0203 (-5.2)	-0,0203 (-5.2)	-0,0203 (-5.2)
Variabili latenti	b_ZIC			0.913 (+3.77)
	b_Z7		0.957 (+5.18)	
	b_Z9		0.557 (+5.22)	
Parametri del modello	δ_1		1.05 (5.07)	

Dal modello in esame, piuttosto semplice, è possibile verificare come i costrutti latenti Attitudine verso gli EV (Z7) e Controllo comportamentale percepito (Z9) concorrano con segno positivo a definire l'intenzione comportamentale, la cui specificazione è esplicitata come segue:

$$ZIC = b_{meanZIC} + b_{Z7} * Z7 + b_{Z9} * Z9 + b_{si\ gmaZIC}$$

I valori calibrati per i $b_{meanZIC}$ e $b_{si\ gmaZIC}$ sono i seguenti:

Tabella 81- Stime dell'equazione strutturale per la variabile latente intenzione comportamentale

$b_{meanZIC}$	0.636 (+5.12)
$b_{si\ gmaZIC}$	1.95 (+4.18)

La Tabella 82 riassume le principali statistiche per questo modello.

Tabella 82- Dati statistici per il MNL gerarchico con Z7 e Z9 e stimato in maniera sequenziale

MNL di scelta di acquisto	
Numero dei parametri stimati	12
Numero di osservazioni	1267
Init log-likelihood:	-2866.743
Final log-likelihood:	-1887.712
Likelihood ratio test (init):	1958.063
Rho-square:	0.341
Adjusted rho-square:	0.337

Inoltre, un ulteriore avanzamento è stato proposto calibrando in maniera simultanea un modello ibrido gerarchico che tenesse conto delle relazioni intercorrenti tra attitudine verso i veicoli elettrici, intenzione comportamentale e effettivo comportamento. Nonostante la complessità computazionale ed i tempi di calcolo elevati anche questo modello è risultato sufficientemente promettente per un passaggio da una modellistica puramente interpretativa ad una interpretativa e simulativa. I risultati del suddetto modello, relativi alle funzioni di utilità vengono riportati in Tabella 83, mentre i risultati relativi al modello strutturale e di misurazione sono riportati nella Tabella 84; infine, i valori calibrati dei parametri $b_{meanZIC}$ e $b_{stgmaZIC}$ sono riportati nella Tabella 85.

Tabella 83- Risultati del modello MNL gerarchizzato per la scelta di acquisto (Con latente Z7 che contribuisce a definire la ZIC – stima simultanea

Attributi		Convenzionali	Bifuel	Elettrificata
Costanti	ASC_2		1.15 (+6.7)	
Caratteristiche dello spostamento e delle auto possedute	b_convenzionale		-0.774 (-5.5)	
	b_oltre_trenta_km			-0.401 (-2.38)
Scenari di acquisto	b_Ricarica_ovunque			0.858 (+6.45)
	b_Costo_mensile_totale	-0.0172 (-6.02)	-0.0172 (-6.02)	-0.0172 (-6.02)
Variabili latenti	b_ZIC			1.08 (+13.3)
	b_Z7		2.14 (+4.49)	
Parametri del modello	δ_1		0.903 (32.8)	
	δ_2		1.8 (26.4)	

Tabella 84- Risultati del modello strutturale e di misurazione per modello ibrido gerarchizzato con variabile latente Z7 – stima simultanea

Z7: Attitudine verso i veicoli elettrici							
Modello di misurazione							
<i>I71_EV_vantaggiosi_ambiente</i>	<i>I72_Tecnologia_EV</i>	<i>I74_Att_positiva_EV</i>	<i>I75_Avversione_guida_EV</i>				
α_{71}	1.57 (14.5)	α_{72}	0	α_{74}	0	α_{75}	1.77 (18)
λ_{71}	0.736 (12.2)	λ_{72}	0.999 (33.5)	λ_{74}	1	λ_{75}	1.01 (14)
ν_{71}	1.59 (23.3)	ν_{72}	1.2 (22.3)	ν_{74}	1	ν_{75}	1.33 (15.3)
Modello strutturale							
β_{MEAN7}				1.72(12,8)			
ω_7				1.23(20)			
B_Gen_M_7				-0.181 (-3.13)			
b_autoveicoli_in_famiglia_7				-0.142(-3.63)			
b_parco_residenziale_7				0.265(+2.69)			
b_casa_svago_auto_7				-0.179(-2.5)			

Tabella 85- Stime dell'equazione strutturale per la variabile latente intenzione comportamentale

$b_{meanZIC}$	-0.638 (-1.13)
$b_{sigmaZIC}$	-1.53 (-2.64)

La Tabella 86riassume le principali statistiche per questo modello.

Tabella 86- Dati statistici per il MNL gerarchico con Z7 – stima simultanea

MNL di scelta di acquisto	
Numero dei parametri stimati	25
Numero di osservazioni	1267
Init log-likelihood:	-13261.78
Final log-likelihood:	-7279.097
Likelihood ratio test (init):	11965.37
Rho-square:	0.451
Adjusted rho-square:	0.449

Nel settore trasporti le scelte compiute dagli utenti rappresentano un tassello fondamentale per comprendere il funzionamento dello stesso. Lo scopo degli analisti è duplice:

- Innanzitutto gli analisti devono essere in grado di interpretare le scelte degli utenti; di fatti solo se si comprendono a pieno i determinanti che influenzano le decisioni degli utenti è possibile intervenire correttamente cercando di rendere il settore trasporti un settore molto più sostenibile (es. politiche di “push” verso soluzioni più sostenibili)
- Inoltre gli analisti devono essere in grado di riprodurre le scelte degli utenti; solo in questo modo è infatti possibile stimare e prevedere correttamente la domanda relativa a servizi di mobilità più sostenibili, o la market penetration di tecnologie innovative (es. veicoli elettrici, veicoli connessi, ecc.).

A tal fine gli analisti del settore trasporti cercano di modellare le scelte degli utenti ricorrendo a modelli che, in maniera particolarmente semplificata, possiamo distinguere in modelli interpretativi e simulativi. I primi sono rivolti a comprendere i principali fattori che influenzano le scelte degli utenti e le relazioni intercorrenti tra di essi; i secondi sono rivolti a definire delle aliquote di scelta per ciascuna alternativa presa in considerazione.

A seconda delle tipologie di scelta affrontate, che siano esse scelte di mobilità (scelte di ordine superiore, di più lungo periodo) o scelte di spostamento (di più breve periodo) l’approccio modellistico da preferire può variare.

La distinzione tra modellistica interpretativa e simulativa, allo stato attuale, trova le sue basi nei diversi paradigmi interpretativi (economico e psicologico) che possono essere utilizzati per descrivere i comportamenti di scelta degli utenti e quindi per riprodurre il processo decisionale che un utente affronta quando compie una scelta. In primo luogo, l’obiettivo principale degli psicologi è comprendere la natura degli elementi decisionali, come vengono stabiliti e modificati dall’esperienza e come determinano il comportamento. L’obiettivo principale degli economisti è la mappatura dagli input informativi alle scelte. Il paradigma economico consente un’interpretazione discreta e si avvale di strumenti di modellazione ormai collaudati, ma non tiene conto di tutte le possibili variabili psicoattitudinali, dei tratti degli utenti e dell’aspetto evolutivo dei processi decisionali.

La differenza sostanziale risiede nel fatto che un approccio psicologico interpreta bene la situazione osservata considerando tutti i legami e i collegamenti logico funzionali tra i fattori che possono influenzare le scelte degli utenti, ma quasi sempre non ha una formalizzazione che consenta anche di stimare le aliquote di scelta.

Di conseguenza il gap che va colmato nel caso in cui si persegua un approccio psicologico è quello intercorrente tra paradigma interpretativo e teorico (inteso come modello che riproduce le scelte degli utenti).

Gli obiettivi perseguiti con questo lavoro sono due:

1. Individuare e formalizzare matematicamente approcci metodologici innovativi che consentano sia di interpretare al meglio le scelte degli utenti sia di riprodurle;
2. Investigare l’efficacia di tali approcci metodologici su casi studio reali (es. penetrazione di mercato di veicoli elettrici).

Le scelte di mobilità che l’utente si trova oggi a dover affrontare, spesso richiedono una vera e propria transizione comportamentale (es. passaggio da auto privata a scelte di mobilità più sostenibili, passaggio da veicoli a combustione interna a veicoli elettrici o ibridi) e pertanto, per poter interpretare correttamente il processo decisionale degli utenti, si ritiene importante non solo esaminare la scelta nel momento in cui viene effettuata, ma anche indagare il processo cognitivo che gli utenti attraversano prima di arrivare a una determinata decisione.

Da questa considerazione è discesa l’intenzione di esplorare le scelte degli utenti concentrandosi non solo su un’analisi trasversale, ma piuttosto su un processo evolutivo.

L’approccio metodologico innovativo proposto, pertanto ha previsto innanzitutto l’applicazione congiunta di due paradigmi alternativi alla teoria dell’utilità aleatoria, ovvero la Teoria del comportamento pianificato (Theory of Planned Behavior, TPB) e il modello transteorico (Transtheoretical model, TTM): la prima esamina i fattori che concorrono a definire l’intenzione comportamentale di eseguire un certo

comportamento, le relazioni tra di essi e la conseguente influenza dell'intenzione comportamentale sul comportamento effettivamente perseguito, la seconda, invece, tiene conto del processo evolutivo che una persona consapevolmente intraprende e affronta per maturare la decisione di intraprendere un nuovo comportamento.

A tal fine è stato investigato un contesto di scelta che, di fatti, potesse essere il risultato di una scelta maturata nel tempo e non di una scelta puntuale. È stata quindi studiata la propensione all'acquisto di un veicolo che potesse essere alimentato diversamente rispetto a quelli convenzionali (Diesel e Benzina), cercando di tener in conto di tutti quei fattori che potessero in qualche modo ridurre "l'inerzia" degli utenti a favore di soluzioni elettrificate (Ibride plug-in e Full Electric).

Tutte le analisi condotte sono effettuate su una base dati ottenuta da un'indagine costruita ad hoc in più fasi e sottoposta ad un campione pilota, di ragazzi giovani e per lo più studenti, che potessero essere in qualche modo rappresentativi dei futuri acquirenti di un'automobile.

La metodologia proposta ipotizza il contributo dello stadio nel cambiamento nella definizione dell'intenzione comportamentale degli utenti (a cui concorrono anche l'attitudine verso quel comportamento, le norme soggettive percepite per quel dato comportamento ed il controllo comportamentale percepito di quel comportamento, che media le due relazioni precedenti). L'intenzione comportamentale, a sua volta ha un effetto sull'effettivo comportamento. Inoltre si ipotizza che lo stadio del cambiamento sia influenzato da attitudini e percezioni generali delle persone, che non dipendono dal comportamento in esame, ma sono insite in noi.

Tale metodologia è stata investigata e studiata tramite la modellazione ad equazioni strutturali, che è una modellistica prettamente interpretativa. In particolare, l'analisi condotta inizialmente con approccio PLS-SEM (più adatto alla trattazione per via della sua natura esplorativa, per la presenza di costrutti ad indicatore singolo e per la presenza di variabili di moderazione) ha condotto alla validazione di un modello ridotto rispetto a quello inizialmente ipotizzato, nel quale sono valide le seguenti ipotesi:

- H0: L'intenzione comportamentale ha un effetto diretto sull'effettivo comportamento di acquisto dell'utente.
- H1: L'attitudine verso i veicoli elettrici ha un'influenza sull'intenzione comportamentale di acquisto.
- H2: La PBC ha un effetto moderatore tra l'attitudine verso i veicoli elettrici e l'intenzione comportamentale di acquisto.
- H3: Lo stadio del cambiamento ha un effetto diretto sull'intenzione comportamentale di acquisto.
- H4: L'attitudine verso l'ambiente ha un effetto diretto sullo stadio del cambiamento.
- H5: L'attitudine verso la tecnologia ha un effetto diretto sullo stadio del cambiamento.

Le relazioni risultate significative sono coerenti con quanto atteso. Certamente, lo stadio di cambiamento (riferito all'acquisto di un'automobile ad alimentazione alternativa) in cui si trova inizialmente un soggetto, prima di ricevere ulteriori informazioni, è direttamente e positivamente influenzato dai suoi atteggiamenti generali verso la tecnologia e l'ambiente. È facile ipotizzare che le persone con una maggiore attitudine verso l'ambiente e una maggiore attitudine verso la tecnologia saranno interessate a saperne di più sui veicoli elettrificati. È inoltre intuitivo ipotizzare che il grado di conoscenza che l'utente possiede, così come il suo interesse per questo tipo di veicoli (grandezze prese in considerazione per ricavare l'indicatore rappresentativo dello stadio del cambiamento), possano influenzare l'intenzione di acquistarli; d'altra parte, quest'ultima sarà influenzata anche dall'atteggiamento che l'utente sviluppa nei confronti dei veicoli elettrici, a sua volta moderato dal controllo che percepisce nell'utilizzarli. Chiaramente, l'intenzione comportamentale è solo un predecessore del comportamento effettivo dell'utente e quindi della scelta d'acquisto, poiché, secondo quanto postulato dalla Teoria del Comportamento Pianificato, il comportamento effettivo dipenderà anche da possibili fattori/impedimenti esterni, che di solito vengono presi in considerazione attraverso il costrutto di Controllo del Comportamento Effettivo. Nel presente studio, anche quest'ultima relazione è stata testata con un approccio PLS-SEM, considerando come impedimenti principali il costo di acquisto dei veicoli ad alimentazione alternativa e la possibilità di ricaricarli solo a casa o ovunque. Tuttavia si è scelto volontariamente di dare poca enfasi a questo aspetto perché un ipotetico costrutto del controllo comportamentale effettivo andrebbe valutato più correttamente sulla scorta di dati provenienti da un'indagine sulle preferenze rilevate, piuttosto che sui dati provenienti da un'indagine sulle preferenze dichiarate.

Dunque, lo studio effettuato rispetto alla combinazione di queste due teorie, seppur su un campione pilota, ha permesso di osservare due risultati principali, da un punto di vista operativo e modellistico.

Da un punto di vista operativo, è emerso che l'intenzione di acquistare un veicolo ad alimentazione alternativa è influenzata dall'atteggiamento verso i veicoli elettrici e in misura minore dallo stadio di cambiamento degli intervistati. Per quanto riguarda l'atteggiamento nei confronti dei veicoli elettrici, esso svolge un ruolo positivo nella definizione dell'intenzione comportamentale, sebbene tale ruolo tenda a indebolirsi a causa del controllo comportamentale percepito. Ciò implica che se l'utente percepisce meno difficoltà legate al possesso e all'utilizzo di un veicolo elettrico o ibrido, il ruolo dell'attitudine verso i veicoli elettrici nel definire l'intenzione comportamentale diminuisce e quindi potrebbe passare in secondo piano rispetto allo stadio del cambiamento stesso. Ne consegue che, da un lato, i produttori di automobili e i responsabili del marketing dovrebbero, durante la fase di pubblicizzazione del prodotto, rassicurare gli utenti sui principali ostacoli che potrebbero percepire nell'utilizzo di un veicolo elettrificato e, dall'altro, le azioni politiche dovrebbero essere mirate ad affrontare i principali ostacoli percepiti (ad esempio, fornendo incentivi per ridurre il prezzo d'acquisto, aumentando il numero di punti di ricarica ecc.)

Inoltre, è emerso che l'intenzione comportamentale è influenzata, anche se in misura minore, dalla fase di cambiamento in cui si trova l'utente. Dal caso di studio emerge che sensibilizzare gli utenti alla tutela dell'ambiente e promuovere una corretta ricettività verso le nuove soluzioni tecnologiche potrebbero essere azioni vincenti che, seppur indirettamente, contribuiscono a modificare lo stadio di cambiamento e a promuovere un passo verso l'intenzione comportamentale di acquisto.

Da un punto di vista modellistico, è emerso che il ricorso all'approccio PLS-SEM, in sostituzione al più convenzionale CB-SEM, sia più adatto allo studio del problema. D'altra parte, al di là delle "imprecisioni" introdotte consapevolmente nell'utilizzo dell'approccio CB-SEM (Azione diretta della PBC sull'intenzione comportamentale ed utilizzo di costrutti ad indicatore singolo), è stato possibile verificare quanto riportato nella letteratura scientifica in merito al concetto di "distorsione su larga scala". Da qui l'importanza di testare successivamente un modello simile su un campione più ampio. In tal caso, infatti, non si esclude che lo stesso modello verificato con l'approccio PLS-SEM possa essere verificato anche con l'approccio CB-SEM, tenendo conto che gli indicatori di goodness of fit non verificati non si discostano molto dai valori soglia suggeriti per la loro verifica.

Le analisi basate sulla modellazione ad equazioni strutturali hanno consentito di delineare un approccio metodologico innovativo con il quale tener conto della natura evolutiva del processo decisionale; tuttavia la modellistica utilizzata per studiare questa metodologia rimane una modellistica interpretativa.

Ci si è allora posti un secondo obiettivo legato alla volontà di colmare il gap tra la modellistica interpretativa e quella simulativa. Sono stati a tal fine specificati, calibrati e validati diversi modelli di scelta discreta e modelli ibridi a variabili latenti. I risultati ottenuti sono stati oltremodo illuminanti nel definire quali attributi direttamente misurabili (caratteristiche socioeconomiche, caratteristiche di spostamento, caratteristiche delle auto possedute o caratteristiche tipiche dei contesti di scelta) possano contribuire a definire la funzione di utilità di ciascuna alternativa ed anche i fattori latenti stessi. Inoltre proprio dai primi modelli calibrati è emersa un'importante percezione degli utenti circa l'insieme di scelta: l'utente non percepisce effettivamente le alternative proposte come elementi singoli, ma elabora una sua distinzione in tre alternative: convenzionale (Benzina e Diesel), Bifuel (Metano e GPL) ed elettrificata (ibrida Plug-in ed elettrica a batteria). Questo accorpamento è in realtà abbastanza coerente se si prendono in considerazione alcuni fattori quali ad esempio: (i) la necessità di infrastrutture di ricariche per veicoli ibridi ed elettrici, (ii) la necessità di apposite aree di rifornimento che in genere si trovano a ridosso del centro per le soluzioni metano e GPL, una riduzione di consumi in termini di spesa mensile, spesso associata alle soluzioni bifuel ed elettrificate, una visione di performance superiori per le due alternative convenzionali, e così via.

In particolare, nonostante la pluralità di informazioni a disposizione, gli attributi risultati significativi nei diversi modelli di scelta, sono stati pressappoco sempre gli stessi e quando differenti, hanno mostrato comunque una stessa chiave interpretativa.

Più in dettaglio, con riferimento all'acquisto di una nuova automobile è emerso come, in tutti i modelli investigati, due attributi restavano per lo più invarianti, non solo in termini di segno, ma in termini di contributo svolto all'interno della funzione di utilità: il costo mensile totale ed il luogo di ricarica. Il primo dei due, chiaramente, costituisce una disutilità per tutte le alternative di scelta, ma incide di più sulla

funzione di utilità per l'alternativa che presenta i costi più alti. Il secondo rappresenta una utilità/disutilità per i veicoli elettrificati. Di fatti avere la possibilità di ricaricare l'auto elettrica (o ibrida) ovunque (quindi sia a casa/lavoro che su strada) determina una maggiore utilità associata alle soluzioni elettrificate. Questo risultato è perfettamente coerente con quello che si pone come uno dei principali ostacoli alla diffusione dei veicoli elettrici in Italia: la mancanza di infrastrutture di ricarica. Inoltre questo risultato, richiamando quanto detto poco fa, ha la stessa chiave di lettura di un altro attributo che in alcuni modelli è risultato significativo nel definire l'utilità dell'alternativa elettrificata. Tale attributo è legato al luogo abituale di sosta. Per coloro i quali vivono in un parco residenziale si ha una maggiore utilità associata alla scelta dell'alternativa elettrificata, o come mostrato nel modello (paragrafo 5.6.1) che integra l'attitudine verso i veicoli elettrici, concorre direttamente a definire l'attitudine stessa.

Oltre alle informazioni pratiche ricavabili dai modelli stimati, in termini di attributi significativi, il contributo del presente lavoro, dal punto di vista modellistico è stato quello di integrare all'interno dei modelli di scelta (fondati sulla RUT e quindi discendenti da un paradigma economico) dei costrutti latenti che non avessero solo carattere generale, ma che venissero formulati nell'ambito della teoria del comportamento pianificato e quindi derivassero da un approccio psicologico al problema.

Se si confrontano i risultati di questo modello integrativo con il modello logit multinomiale di benchmark o con i modelli ibridi in cui sono state inserite delle attitudini di carattere generale, è immediato verificare che nonostante si abbia a che fare con un modello più semplice, con meno attributi che concorrono a definire la funzione di utilità, si osserva un valore della statistica ρ^2 più alta, ad indicare un potere di riproducibilità dei dati osservati con tale modello più alta. Inoltre, si evince anche come molti degli attributi che prima figuravano direttamente nelle funzioni di utilità, in questo modello, passano a definire il costrutto latente esaminato. Questo suggerisce che le caratteristiche socioeconomiche e quotidiane della nostra vita contribuiscono a formare i nostri atteggiamenti, piuttosto che direttamente la percezione di determinate alternative.

Infine, un ulteriore step in avanti è stato mosso per cercare di colmare a pieno il gap tra approccio interpretativo ed approccio simulativo. Tale step consiste nell'implementare dei modelli ibridi gerarchici per riprodurre tutte le relazioni tra i costrutti ipotizzati nella TPB o eventualmente nel quadro metodologico proposto (TPB+TTM) direttamente nel modello di scelta.

Data la complessità analitica del problema, avanzamenti in questa direzione sono stati effettuati procedendo per fasi. È stato quindi calibrato un modello ibrido gerarchico che riproducesse la struttura del comportamento pianificato, considerando il costrutto del controllo comportamentale percepito, come nella prima versione della teoria, agente direttamente sull'intenzione comportamentale. Ovviamente è stato invece escluso dalla specificazione del modello il costrutto relativo alle Norme Soggettive, risultato non affidabile dai risultati dell'analisi fattoriale confermativa.

La stima del modello è stata effettuata in maniera sequenziale ed ha consentito di individuare nei modelli ibridi gerarchici una buona soluzione per poter tenere in conto non solo dei costrutti formulati dalle teorie psicologiche ma anche delle relazioni intercorrenti tra di essi nella definizione delle funzioni di utilità.

Inoltre un ulteriore avanzamento è stato proposto calibrando in maniera simultanea un modello ibrido gerarchico che tenesse conto delle relazioni intercorrenti tra attitudine verso i veicoli elettrici, intenzione comportamentale e effettivo comportamento. Nonostante la complessità computazionale ed i tempi di calcolo elevati anche questo modello è risultato sufficientemente promettente per un passaggio da una modellistica puramente interpretativa ad una interpretativa e simulativa.

Un elemento di discussione riguarda sicuramente la trasferibilità dei modelli stimati, da intendersi sotto tre sfaccettature: trasferibilità spaziale, trasferibilità temporale e trasferibilità metodologica. La trasferibilità spaziale dei modelli ibridi è spesso discussa in letteratura. È chiaro che tali modelli sono strettamente dipendenti da indicatori attitudinali e che, per tale motivo, i valori calibrati potrebbero cambiare in maniera significativa nel momento in cui il campione di riferimento viene modificato. Questo, in generale, determina una non trasferibilità spaziale dei modelli ibridi. In termini di trasferibilità temporale, il modello potrebbe risultare trasferibile, in termini di risultati quantitativi, in un arco temporale relativamente breve (es. 2-5 anni) ed a meno di variazioni al contorno importanti (ad esempio, attualmente la trasferibilità temporale dei risultati ottenuti potrebbe essere messa in discussione dalla notevole variazione dei prezzi dei carburanti legati alla guerra tra Russia ed Ucraina). La trasferibilità metodologica del lavoro, intesa in termini qualitativi (relazioni significative tra i costrutti) e non in termini quantitativi (valori dei parametri ottenuti), invece, si ritiene possibile, in quanto, sebbene lo studio sia stato rivolto ad

un campione pilota, quest'ultimo è sufficientemente rappresentativo di una specifica classe di utenti, e sufficientemente grande da fornire significatività statistiche tali da far ritenere la metodologia trasferibile.

Dunque, ripercorrendo i contributi alla ricerca elencati nel capitolo 1, si riportano le principali conclusioni derivanti dal seguente progetto di ricerca.

Il presente lavoro, applicato ad un caso studio che esamina la propensione all'utilizzo e all'acquisto di un veicolo ad alimentazione alternativa, esplora:

- (i) **L'applicabilità congiunta di più di un paradigma interpretativo** → L'idea di considerare congiuntamente l'applicabilità della teoria del comportamento pianificato e del transteoretico è il cuore dell'approccio metodologico innovativo proposto. Infatti, non si può più non riconoscere che alcune scelte non siano puntuali, ma piuttosto siano il risultato di un processo evolutivo, di una vera e propria transizione comportamentale. Di questo aspetto bisogna esplicitamente tenerne conto quando si interpretano e si simulano le scelte degli utenti, soprattutto se si tratta di scelte di mobilità (di ordine gerarchicamente superiore).
- [risultato (i)]** → Molte delle ipotesi postulate per il nuovo approccio metodologico sono confermate tramite l'ausilio alla modellazione ad equazioni strutturali. In particolare si evidenzia come lo stadio del cambiamento che un utente esibisce rispetto ad un determinato comportamento, influenzi direttamente la sua intenzione comportamentale e quindi le sue scelte (comportamento effettivo). L'analisi ha consentito di dimostrare come il costrutto relativo allo stadio del cambiamento abbia anche un potere predittivo "out-of sample" e quindi sia estendibile fuori dal campione.
- (ii) **I costrutti che influenzano l'intenzione di acquistare un'auto ad alimentazione alternativa** → Oggigiorno l'analista deve prediligere una modellistica che consenta di interpretare al meglio i fenomeni, in quanto un aspetto imprescindibile richiesto oggi agli analisti del settore trasporti risiede nella capacità di trasferire alle amministrazioni, alle case automobilistiche e ai diversi stakeholder la conoscenza dei fattori che, di caso in caso, incidono sulle scelte degli utenti.
- [risultato (ii)]** → I diversi modelli di scelta stimati hanno consentito di evidenziare i fattori direttamente misurabili o latenti che influenzano le scelte di acquisto degli utenti. Innanzitutto è emerso chiaramente come i due fattori tangibili di maggiore disutilità rispetto all'acquisto di veicoli elettrificati siano il costo totale mensile ed il luogo di ricarica. Il costo totale mensile, valutato in funzione dei consumi mensili (relativi a spostamenti giornalieri di 30 km), delle spese di manutenzione e delle spese di acquisto iniziale, rappresenta una disutilità per tutte le alternative, ma a causa dell'elevato costo di acquisto è attualmente più sentito per le soluzioni elettrificate. Il luogo di ricarica costituisce un limite non trascurabile nell'acquisto di una soluzione elettrificata; emerge come la possibilità di ricaricare sia su strada che a casa/lavoro determini una maggiore utilità per gli utenti. Tuttavia, non sempre gli utenti hanno la possibilità di un parcheggio privato e quindi non sempre possono usufruire della ricarica domestica. Diversi altri fattori risultano significativi nel definire le utilità associate a ciascuna alternativa di scelta. Tali fattori sono in genere caratteristiche socioeconomiche degli utenti, caratteristiche dei loro spostamenti o caratteristiche delle automobili già possedute. È interessante notare come questi attributi possano direttamente influenzare le scelte degli utenti, ma emerge che, più propriamente, essi ne influenzano atteggiamenti e percezioni. Sono poi questi fattori latenti, ed in particolare l'attitudine verso l'ambiente, la percezione dei veicoli elettrici, l'attitudine verso i veicoli elettrici ed il controllo comportamentale percepito (rispetto all'utilizzo di un veicolo elettrico) ad influenzare le scelte degli utenti.
- (iii) **L'impiego dei modelli ad equazioni strutturali per lo studio del nuovo framework proposto** → la modellazione interpretativa che in genere viene utilizzata per studiare le teorie derivanti dall'approccio psicologico consiste essenzialmente nell'implementazione di modelli ad equazioni strutturali. Esistono due filoni di studio che si concretizzano nell'utilizzo dell'approccio PLS-SEM o in quello dell'approccio CB-SEM. In letteratura è spesso dibattuto quale sia l'approccio più corretto da utilizzare. Per lo studio in esame l'approccio più consono da utilizzare è parso quello PLS-SEM; tuttavia il modello validato è stato altresì studiato con approccio CB-SEM.

- [risultato (iii)]**→ Al di là delle "imprecisioni" introdotte consapevolmente nell'utilizzo dell'approccio CB-SEM (Azione diretta della PBC sull'intenzione comportamentale ed utilizzo di costrutti ad indicatore singolo), è stato possibile verificare quanto riportato nella letteratura scientifica in merito al concetto di "distorsione su larga scala", secondo cui le relazioni del modello di misura sono sovrastimate con il PLS-SEM, mentre quelle del modello strutturale sono sottostimate. D'altra parte, i rapporti di forza tra i diversi indicatori o tra i diversi costrutti ipotizzati nel modello sono rimasti invariati. Da qui l'importanza di testare successivamente un modello simile su un campione più ampio. In tal caso, infatti, non si esclude che lo stesso modello verificato con l'approccio PLS-SEM possa essere verificato anche con l'approccio CB-SEM, tenendo conto che gli indicatori di goodness of fit non verificati non si discostano molto dai valori soglia suggeriti per la loro verifica.
- (iv) **L'impiego di modelli di scelta discreta consolidati**→ questa operazione ha come fine ultimo quello di individuare quale sia il miglior insieme di scelta da prendere in considerazione nonché la costituzione di modelli di benchmark rispetto ai quali confrontare i risultati derivanti da approcci più avanzati
- [risultato (iv)]**→ Da questa fase di analisi è discesa un'importante informazione. L'utente non percepisce effettivamente le alternative proposte come elementi singoli, ma elabora una sua distinzione in tre alternative: convenzionale (Benzina e Diesel), Bifuel (Metano e GPL) ed elettrificata (ibrida Plug-in ed elettrica a batteria). Questo accorpamento è in abbastanza coerente se si prendono in considerazione alcuni fattori quali ad esempio: (i) la necessità di infrastrutture di ricariche per veicoli ibridi ed elettrici, (ii) la necessità di apposite aree di rifornimento che in genere si trovano a ridosso del centro per le soluzioni metano e GPL, una riduzione di consumi in termini di spesa mensile, spesso associata alle soluzioni bifuel ed elettrificate, una visione di performance superiori per le due alternative convenzionali, e così via. Questa schematizzazione delle percezioni degli utenti può costituire una conoscenza fondamentale per intraprendere politiche di "push" verso soluzioni elettrificate. Modelli con attributi più dettagliati rispetto alle differenze principali tra le due soluzioni accorpate potranno poi contribuire ad una distinzione tra le due.
- (v) **L'impiego di modelli di scelta ibridi** → questa operazione ha come fine ultimo quello di individuare quali fattori latenti possono influenzare le scelte di acquisto degli utenti, la loro entità, e il miglioramento in termini interpretativi e simulativi eventualmente apportati considerando tali fattori. I fattori latenti cui si fa riferimento sono quelli generalmente esplorati in letteratura con riferimento al contesto di scelta esaminato: attitudine verso l'ambiente, attitudine verso la tecnologia, percezione dei consumi, norme sociali, percezione dei vantaggi dei veicoli elettrici e percezione degli svantaggi dei veicoli elettrici.
- [risultato (v)]**→ è emerso che l'attitudine verso l'ambiente e la percezione dei vantaggi dei veicoli elettrici contribuiscono a rafforzare l'utilità associata all'acquisto dei veicoli elettrici. I modelli ottenuti consentono un miglioramento della riproducibilità dei dati osservati (Adjusted rho-square: MNL = 0.230, HCM_{Z2} = 0.387, HCM_{Z5} = 0.438), e rafforzano l'interpretazione rispetto al modello privo di fattori latenti
- (vi) **L'impiego di modelli di scelta ibridi basati su paradigmi psicologici**→ Con questo contributo si cerca di colmare la principale limitazione dell'approccio psicologico, ovvero la mancata trasformazione in una modellistica simulativa. A tal fine, i costrutti postulati dalla teoria del comportamento pianificato (e derivanti quindi da considerazione di natura psicologica e quindi interpretativa) sono stati inseriti, sottoforma di variabili latenti, nei modelli di scelta. In tal modo, pur considerando ancora una modellazione utilitaristica si è estesa l'esplorazione verso costrutti derivati da una teoria psicologica.
- [risultato (vi)]**→ è emerso che l'attitudine verso i veicoli elettrici e il controllo comportamentale percepito contribuiscono a rafforzare l'utilità associata all'acquisto dei veicoli elettrici. I modelli ottenuti consentono un ulteriore miglioramento in termini di riproducibilità dei dati osservati (rispetto ai modelli ibridi calibrati a partire dalla classica trattazione e visti al punto v. Questo sottolinea come un approccio psicologico sia fondamentale per una perfetta conoscenza del processo decisionale.

(vii) **L'impiego di modelli avanzati, che pur basandosi su un approccio di stima utilitaristico (massimizzazione della funzione di utilità) vengano costruiti a partire dal nuovo framework metodologico proposto ed investigato** → con questa operazione si cerca di colmare a pieno il gap tra approccio interpretativo ed approccio simulativo. Tale step consiste nell'implementare dei modelli ibridi gerarchici per riprodurre tutte le relazioni tra i costrutti ipotizzati nella TPB, o eventualmente nel nuovo quadro metodologico proposto (TPB+TTM), direttamente nel modello di scelta; si cerca quindi di tener conto anche delle relazioni intercorrenti tra i diversi costrutti derivanti dalle teorie psicologiche e non solo dei costrutti stessi.

[risultato (vii)] → Data la complessità analitica del problema, avanzamenti in questa direzione sono stati effettuati procedendo per fasi. È stato quindi calibrato un modello ibrido gerarchico che riproducesse la struttura della teoria del comportamento pianificato, considerando il costrutto del controllo comportamentale percepito, come nella prima versione della teoria, agente direttamente sull'intenzione comportamentale. La stima del modello è stata effettuata in maniera sequenziale ed ha consentito di individuare nei modelli ibridi gerarchici una buona soluzione per poter tenere in conto non solo dei costrutti formulati dalle teorie psicologiche ma anche delle relazioni intercorrenti tra di essi nella definizione delle funzioni di utilità. Inoltre un ulteriore avanzamento è stato proposto calibrando in maniera simultanea un modello ibrido gerarchico che tenesse conto delle relazioni intercorrenti tra attitudine verso i veicoli elettrici, intenzione comportamentale e effettivo comportamento. Nonostante la complessità computazionale ed i tempi di calcolo elevati anche questo modello è risultato sufficientemente promettente per un passaggio da una modellistica puramente interpretativa ad una interpretativa e simulativa.

Ovviamente gli avanzamenti proposti non sono stati esenti da complessità ed hanno pertanto consentito di evidenziare alcuni aspetti che potrebbero essere migliorati.

In primo luogo è chiaro che uno dei principali limiti dello studio effettuato risiede nel campione a cui è rivolta l'indagine. Data la necessità di perseguire una continuità tra una fase e l'altra dell'indagine, lo studio è condotto su un campione pilota, composto per lo più da studenti universitari, e quindi parzialmente distorto; Questa distorsione potrebbe in parte riflettersi nel ruolo significativo di costrutti come l'attitudine verso l'ambiente o l'intenzione di acquisto dei veicoli elettrici che, come riportato in diversi studi di letteratura (Achtnicht, 2012; Carley et al., 2013; Lin and Tan, 2017; Sovacool et al., 2018; Ji e Gan, 2022) sono spesso dipendenti dall'età e dal livello di educazione.

Chiaramente diverse sono le soluzioni perseguibili per poter estendere l'indagine ad un campione più ampio, pur continuando a mantenere una certa continuità tra una fase e l'altra dell'indagine. Quella più efficace (basandosi su studi di letteratura rivolti ad investigare i cambiamenti comportamentali degli utenti verso forme di mobilità più sostenibili) potrebbe consistere nella creazione di una apposita app che consenta non solo di fornire agli intervistati dei momenti informativi, ma anche di testare in diversi momenti, lo stadio effettivo del comportamento, investigando anche eventuali cambiamenti nello stile di vita. Tale app potrebbe anche rivelarsi direttamente utile nello spingere gli utenti verso specifici cambiamenti comportamentali.

Inoltre, sarebbe auspicabile la possibilità di poter estendere lo studio ad un campione più grande, basando le informazioni raccolte su un'indagine mista sulle preferenze dichiarate (per poter definire l'intenzione comportamentale) e sulle preferenze rilevate (per poter tener conto dell'effettivo comportamento).

Infine, nell'ottica di futuri step di ricerca si potrebbero apportare alcuni miglioramenti già in fase di indagine, pensata appositamente per tener conto della natura evolutiva dei processi decisionali. Ad esempio, sebbene negli studi di letteratura presi come riferimento per investigare il costrutto dello stadio del cambiamento e dell'intenzione comportamentale venga sempre considerato un unico indicatore, per l'implementazione di modelli ibridi gerarchici sarebbe più consono avere, per ciascun costrutto latente, almeno tre indicatori, in maniera tale che, pur aumentando la complessità del modello, non si incorra in problemi di identificazione.

8 RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- Achtnicht, M. (2012). German car buyers' willingness to pay to reduce CO2 emissions. *Climatic change*, 113(3), 679-697.
- Achtnicht, M., Bühler, G. and Hermeling, C. (2012) 'The impact of fuel availability on demand for alternative-fuel vehicles', *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 17(3), pp. 262–269. doi: 10.1016/j.trd.2011.12.005.
- Adhikari, M.; Ghimire, L.P.; Kim, Y.; Aryal, P.; Khadka, S.B., 2020. Identification and Analysis of Barriers against Electric Vehicle Use. *Sustainability*, 12, 4850.
- Aguinis, H., Beaty, J. C., Boik, R. J., & Pierce, C. A. (2005). Effect size and power in assessing moderating effects of categorical variables using multiple regression: A 30-year review. *Journal of Applied Psychology*, 90, 94–107.
- Ahn, J., Jeong, G. and Kim, Y. (2008) 'A forecast of household ownership and use of alternative fuel vehicles: A multiple discrete-continuous choice approach', *Energy Economics*, 30(5), pp. 2091–2104. doi: 10.1016/j.eneco.2007.10.003.
- Ajzen and M. Fishbein, *Attitude-Behavior Relations: A Theoretical Analysis and Review of Empirical Research*, *Psychological Bulletin* 84, pp. 889-918,1977.
- Ajzen, I. (1985). From intentions to actions: A theory of planned behaviour. *Action Control: From Cognition to Behavior*, 11–39
- Ajzen, I. (1991). The theory of planned behavior. *Organizational behavior and human decision processes*, 50(2), 179–211.
- Ajzen, I., & Fishbein, M. (1980). *Understanding attitudes and predicting social behaviour*. Pearson.
- ALLAIS, M. (1953), " Le comportement de l'homme rationnel devant le risque ", *Econometrica* , 21, 503-546.
- Allais, Maurice. 1953. *Le Comportement de l'Homme Rationnel devant le Risque: Critique des Postulats et Axiomes de l'Ecole Américaine*. *Econometrica* 21: 503–46.
- Anderson, N. H. (1971). Integration theory and attitude change. *Psychological Review*, 78, 171-206.
- Anderson, N. H. (1981a). *Foundations of information integration theory*. San Diego, CA: Academic Press
- Anderson, N. H. (1981b). Integration theory applied to cognitive responses and attitudes. In R. E. Petty, T. M.
- Anderson, N. H. (1991). *Contributions to information integration theory (vols. 1, 2, 3)*. Hillsdale, NJ: Erlbaum. Applications to addictive behaviours. *American Psychologist*, 7, 1102-1 114.
- ARCHIBALD, G. C. Utility, risk, and linearity. *Journal of Political Economy* 1959, 67, 437-450.
- Arrow, Ken J. (1951) *Social Choice and Individual Values* Yale University Press; Tradotto in: *Scelte sociali e valori individuali* Etas Libri, 2003.
- Ashok, K., Dillon, W. R. and Yuan, S., 2002. Extending discrete choice models to incorporate attitudinal and other latent variables. *Journal of Marketing Research* XXXIX, pp. 31-46.
- Bagozzi, R.P., Yi, Y. and Phillips, L.W. (1991) *Assessing Construct Validity in Organizational Research*. *Administrative Science Quarterly*, 36, 421-458.
- Baig F., Zhang D., Lee J., Xu H., 2022. Shaping inclusiveness of a transportation system: Factors affecting seat-yielding behavior of university students in public transportation, *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, Volume 155, Pages 79-94, ISSN 0965-8564, <https://doi.org/10.1016/j.tra.2021.11.004>.
- Bansal P., Kumar R. R., Raj A., Dubey S., Graham D. J., 2021. Willingness to pay and attitudinal preferences of Indian consumers for electric vehicles, *Energy Economics*, Volume 100, 105340, ISSN 0140-9883, <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2021.105340>.
- Barclay, D. W., Higgins, C. A., & Thompson, R. (1995). The partial least squares approach to causal modeling: Personal computer adoption and use as illustration. *Technology Studies*, 2, 285–309.
- Batool T., Ross V., Brijis K., An Neven, Christophe J.P., 2022. Smeets, Martijn Scherrenberg, Paul Dendale, Yves Vanrompay, Davy Janssens, Geert Wets, It's how you say it – The extended Theory of Planned Behaviour explains active transport use in cardiac patients depending on the type of self-report in a hypothesis-generating study, *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, Volume 90, Pages 120-135, <https://doi.org/10.1016/j.trf.2022.08.005>.
- Becker, J.-M., Rai, A., & Rigdon, E. E. (2013a). Predictive validity and formative measurement in structural equation modeling: Embracing practical relevance. In: 2013 Proceedings of the international conference on information systems, Milan.
- Becker, Kai Helge. 2016. An outlook on behavioural OR—Three tasks, three pitfalls, one definition. *European Journal of Operational Research* 249: 806–15.
- Bell, D. E. (1982). "Regret in decision making under uncertainty". *Operations Research*. 30 (5): 961–981. doi:10.1287/opre.30.5.961.
- Ben-Akiva, Moshe & Mcfadden, Daniel & Gärling, Tommy & Gopinath, Dinesh & Walker, Joan & Bolduc, Denis & Börsch-Supan, Axel & Delquié, Philippe & Larichev, Oleg & Morikawa, Taka & Polydoropoulou, Amalia & Rao, Vithala. (1999). *Extended Framework for Modeling Choice Behavior*. *Marketing Letters*. 10. 187-203. 10.1023/A:1008046730291.
- Bera, Reema & Maitra, Bhargab, 2021. "Assessing consumer preferences for Plug-in Hybrid Electric Vehicle (PHEV): An Indian perspective," *Research in Transportation Economics*, Elsevier, vol. 90(C).
- Bierlaire, M. (2020). *A short introduction to PandasBiogeme*. Technical report TRANSP-OR 200605. Transport and Mobility Laboratory, ENAC, EPFL.

- Bierlaire, M., 2003. BIOGEME: A free package for the estimation of discrete choice models , Proceedings of the 3rd Swiss Transportation Research Conference, Ascona, Switzerland.
- Bierlaire, M., 2016. PythonBiogeme: a short introduction, Report TRANSP-OR 1607066 Series on Biogeme, Transport and Mobility Laboratory, School of Architecture, Civil and Environmental Engineering, Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, Switzerland.
- Block, H. and J. Marschak (1960), "Random Orderings and Stochastic Theories of Response," I. Olkin, ed., Contributions to Probability and Statistics, Stanford, Calif.: Stanford University Press.
- Bolduc, D., Boucher, N. and Alvarez-Daziano, R., 2008. Hybrid choice modelling of new technologies for car choice in Canada. *Transportation Research Record*, 2082, pp. 63-71.
- Bollen, K. A. (1989). *Structural equations with latent variables*. New York: Wiley.
- Bollen, K. A. (2002). Latent variables in psychology and the social sciences. *Annual Review of Psychology*, 53(1), 605–634.
- Bollen, K. A. (2011). Evaluating effect, composite, and causal indicators in structural equation models. *MIS Quarterly*, 35(2), 359–372.
- Bollen, K. A., & Bauldry, S. (2011). Three Cs in measurement models: Causal indicators, composite indicators, and covariates. *Psychological Methods*, 16(3), 265–284.
- Bollen, K. A., & Diamantopoulos, A. (2017). In defense of causal–formative indicators: A minority report. *Psychological Methods*, forthcoming.
- Bollen, K. A., & Lennox, R. (1991). Conventional wisdom on measurement: A structural equation perspective. *Psychological Bulletin*, 110(2), 305–314.
- Bollen, K. A., 1989. *Structural Equations with Latent Variables*. Wiley Series in Probability and Mathematical Statistics. New York: Wiley.
- Bollen, K. A., 2005. *Structural Equations with Latent Variables*, New York: Wiley.
- Boomsma A., 2000. Reporting Analyses of Covariance Structures. In *Structural Equation Modeling*, 7, 461-483.
- Borsboom, D., Mellenbergh, G. J., & van Heerden, J. (2003). The theoretical status of latent variables. *Psychological Review*, 110(2), 203–219.
- Brand, C., Cluzel, C. and Anable, J. (2017) ‘Modeling the uptake of plug-in vehicles in a heterogeneous car market using a consumer segmentation approach’, *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 97, pp. 121–136. doi: 10.1016/j.tra.2017.01.017.
- Browne M.W. and Cudeck R., 1989. Single Sample Cross-Validation Index for Covariance Structure. In *Multivariate Behavioural Research*, 24, 445-455.
- Browne M.W. and Cudeck R., 1993. Alternative Ways of Assessing Model Fit. In Bollen & Long (a c di), 132-162.
- Browne M.W., 1984. Asymptotic Distribution Free Methods in Analysis of Covariance Structures. In *British Journal of Mathematical and Statistical Psychology*, 37, 62-83
- Brownstone, D., Bunch, D. S. and Train, K. (2000) ‘Joint mixed logit models of stated and revealed preferences for alternative-fuel vehicles’, *Transportation Research Part B: Methodological*, 34(5), pp. 315–338. doi: 10.1016/S0191-2615(99)00031-4.
- Brownstone, D. and Train, K. (1998) ‘Forecasting new product penetration with flexible substitution patterns’, *Journal of Econometrics*, 89(1–2), pp. 109–129. doi: 10.1016/S0304-4076(98)00057-8.
- Bunch, D. S. et al. (1993) ‘Demand for clean-fuel vehicles in California: A discrete-choice stated preference pilot project’, *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 27(3), pp. 237–253. doi: 10.1016/0965-8564(93)90062-P.
- Byrne B.M., 1994. *Structural Equation Modeling with EQS and EQS/Windows*, Thousand Oaks CA, Sage.
- Byun H., Shin J., Lee C.Y., 2018. Using a discrete choice experiment to predict the penetration possibility of environmentally friendly vehicles, *Energy*, Volume 144, Pages 312-321, ISSN 0360-5442, <https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.12.035>.
- Camerer, C. (1997). “Progress in behavioral game theory,” *Journal of Economic Perspectives*, 11, 167±168.
- Carley S., Krause R.M., Lane B.W., Graham J.D., 2013. Intent to purchase a plug-in electric vehicle: a survey of early impressions in large US cities. *Transp Res Part D: Transp Environ*, 18, pp. 39-45
- Carroll, J. Douglas (1972), “Individual Differences and Multidimensional Scaling,” in *Multidimensional Scaling: Theory and Application in the Behavioral Sciences*, eds. R. N. Shepard, A. K. Romney, and S. Nerlove, New York: Seminar Press, Inc., 1.
- Chin, W. W. (1998). The partial least squares approach to structural equation modeling. In G. A. Marcoulides (Ed.), *Modern methods for business research* (pp. 295–358). Mahwah, NJ: Erlbaum.
- Chin, W. W., Marcolin, B. L., & Newsted, P. R. (2003). A partial least squares latent variable modeling approach for measuring interaction effects: Results from a Monte Carlo simulation study and an electronic-mail emotion/adoption study. *Information Systems Research*, 14(2), 189–217.
- Chin, W. W., Marcolin, B. L., & Newsted, P. R. (2003). A partial least squares latent variable modeling approach for measuring interaction effects: Results from a Monte Carlo simulation study and an electronic-mail emotion/adoption study. *Information Systems Research*, 14, 189–217.
- Cirillo, C., Liu, Y. and Maness, M. (2017) ‘A time-dependent stated preference approach to measuring vehicle type preferences and market elasticity of conventional and green vehicles’, *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 100, pp. 294–310. doi: 10.1016/j.tra.2017.04.028.

- Cohen, J. (1988). *Statistical power analysis for the behavioral sciences*. Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum.
- Coltman, T., Devinney, T. M., Midgley, D. F., & Venai, S. (2008). Formative versus reflective measurement models: Two applications of formative measurement. *Journal of Business Research*, 61(12), 1250–1262.
- Conover W. J., 1999. *PRACTICAL NON PARAMETRIC STATISTICS*. Third Edition (Vol. 350). John Wiley & Sons. ISBN: 978-0-471-16068-7
- Coombs, C. H. (1975). A note on the relation between the vector model and the unfolding model for preferences. *Psychometrika*, 40(1), 115–116. <https://doi.org/10.1007/BF02291484>
- Coricelli, G., Critchley, H.D., Joffily, M., O'Doherty, J.P., Sirigu, A., Dolan, R.J. (2005).
- Cronbach, L.J., 1951. Coefficient Alpha and the Internal Structure of Tests. *Psychometrika*, 16(3): 297-334.
- Cronbach, L.J., 1951. Coefficient Alpha and the Internal Structure of Tests. *Psychometrika*, 16(3): 297-334.
- Dagsvik J. K., Wennemo T., Wetterwald D. G., Aaberge R., 2002. Potential demand for alternative fuel vehicles. *Transportation Research Part B: Methodological*, Volume 36, Issue 4, Pages 361-384, ISSN 0191-2615. [https://doi.org/10.1016/S0965-8564\(01\)00013-1](https://doi.org/10.1016/S0965-8564(01)00013-1).
- Danielis R., Rotaris L., Giansoldati M., Scorrano M., 2020. Drivers' preferences for electric cars in Italy. Evidence from a country with limited but growing electric car uptake. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*. 137. 79-94. 10.1016/j.tra.2020.04.004.
- Davis, F.D. 1985. *A Technology Acceptance Model for Empirically Testing New End-User Information Systems: Theory and Results*. Ph.D. Sloan School of Management, M.I.T.: Massachusetts Institute of Technology.
- Davis, F.D. 1993. User acceptance of information technology: system characteristics, user perceptions and behavioral impacts. *Man-Machine Studies*. [Online] 38(3): 475-487.
- Davis, F.D., Bagozzi, R.P. & Warshaw, P.R. 1989. User Acceptance of Computer Technology: A Comparison of Two Theoretical Models. *Management Science*. [Online] 35(8): 982-1003.
- Davis, F.D. & Venkatesh, V., 1996. A critical assessment of potential measurement biases in the technology acceptance model: three experiments. *International Journal of Human-Computer Studies*. [Online] 45(1): 19-45.
- Dawes R. (1979). The robust beauty of improper linear models in decision making. *Am. Psychol.* 34, 571–582. 10.1037/0003-066X.34.7.571
- Daziano, R. A. and Bolduc, D. (2013) 'Incorporating pro-environmental preferences towards green automobile technologies through a Bayesian hybrid choice model', *Transportmetrica A: Transport Science*, 9(1), pp. 74–106. doi: 10.1080/18128602.2010.524173.
- De Luca S, Pace R Di, Bruno F., 2020. Accounting for attitudes and perceptions influencing users' willingness to purchase electric vehicles through a hybrid choice modelling approach based on analytic Hierarchy process. *Transport Res Procedia*;45: 467–74. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2020.03.040>.
- DEFINEITI, B. Foresight, its logical laws, its subjective sources (first published in 1937). in H. E. Kyburg Jr. & H. E. Smokier (Eds.), *Studies in subjective probability*. New York: Wiley, 1964.
- Degirmenci, K. and Breitner, M. H. (2017) 'Consumer purchase intentions for electric vehicles: Is green more important than price and range?', *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 51, pp. 250–260. doi: 10.1016/j.trd.2017.01.001.
- Di Franco G., 2010. *Il campionamento nelle scienze umane* FrancoAngeli, ISBN: 9788856832709
- Di Franco, G. Multiple correspondence analysis: one only or several techniques?. *Qual Quant* 50, 1299–1315 (2016). <https://doi.org/10.1007/s11135-015-0206-0>
- Diamantopoulos, A. (2006). The error term in formative measurement models: Interpretation and modeling implications. *Journal of Modeling in Management*, 1(1), 7–17.
- Diamantopoulos, A. (2011). Incorporating formative measures into covariance-based structural equation models. *MIS Quarterly*, 35(2), 335–358.
- Diamantopoulos, A., & Winklhofer, H.M. (2001). Index construction with formative indicators: An alternative to scale development. *Journal of Marketing Research*, 38(2), 269–277.
- Dijkstra, T. K., & Henseler, J. (2011). Linear indices in nonlinear structural equation models: Best fitting proper indices and other composites. *Quality & Quantity*, 45(6), 1505–1518.
- Eccarius, T.; Lu, C.-C. Adoption intentions for micro-mobility—Insights from electric scooter sharing in Taiwan
- Edwards, J. R., & Bagozzi, R. P. (2000). On the nature and direction of relationships between constructs and measures. *Psychological Methods*, 5(2), 155–174.
- EDWARDS, W., 1961. Behavioral Decision Theory, *Ann. Rev. Psych.*, 1961, 12, pp. 473-98.
- Ehteshamrad S., Saffarzadeh M., Mamdoohi A., Nordfjærn T., 2022. Behavior of parents and children in the way they use public transport. A case study of Iranian households, *Case Studies on Transport Policy*, Volume 10, Issue 1, Pages 454-462, <https://doi.org/10.1016/j.cstp.2022.01.006>.
- Elrose F., Lewis I., Hassan H., Murray C., Insights into the effectiveness of messaging promoting intentions to use connected vehicle technology, *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, Volume 88, 2022, Pages 155-167, <https://doi.org/10.1016/j.trf.2022.05.018>.

- Everitt, B. S., 1984. *An Introduction to Latent Variable Models*. Monographs on Statistical and Applied Probability, Chapman and Hall.
- Evermann, J., & Tate, M. (2016). Assessing the predictive performance of structural equation model estimators. *Journal of Business Research*, 69(10), 4565–4582.
- Ewing, G. and Sarigöllü, E. (2000) 'Assessing Consumer Preferences for Clean-Fuel Vehicles: A Discrete Choice Experiment', *Journal of Public Policy & Marketing*, 19(1), pp. 106–118. doi: 10.1509/jppm.19.1.106.16946.
- Falk, R. F., & Miller, N. B. (1992). *A primer for soft modeling*. Akron: University of Akron Press.
- Fishbein M., (1967), "Attitudes and the Prediction of Behavior," in *Readings in Attitude Theory and Measurement*, ed. Martin Fishbein, New York: John Wiley & Sons, Inc.
- Fishbein M. and Ajzen I., 1975. *Belief, Attitude, Intention, and Behavior: An Introduction to Theory and Research*, Addison-Wesley, Reading, Massachusetts.
- Fishburn P. C. (1974). Lexicographic orders, utilities and decision rules: a survey. *Manag. Sci.* 20, 1442–1471. 10.1287/mnsc.20.11.1442
- Fishburn, P. (1972), *Mathematics of Decision Theory*, UNES
- FISHBURN, P. C. (1969). Weak qualitative probability on finite sets. *Ann. Math. Statist.* 40 2118-2126.
- FISHBURN, P. C. (1970). *Utility Theory for Decision Making*. Wiley, New York. Krieger edition, 1979
- Fishburn, P. C. (1982). *The Foundations of Expected Utility*. Theory & Decision Library. ISBN 90-277-1420-7.
- Fornell, C. G., & Bookstein, F. L. (1982). Two structural equation models: LISREL and PLS applied to consumer exit-voice theory. *Journal of Marketing Research*, 19(4), 440–452.
- Forward, 2014. Exploring people's willingness to bike using a combination of the theory of planned behavioural and the transtheoretical model.
- Friman M, Huck J, Olsson LE. Transtheoretical Model of Change during Travel Behavior Interventions: An Integrative Review. *Int J Environ Res Public Health*. 2017 May 30;14(6):581. doi: 10.3390/ijerph14060581.
- Friman M., Maier R., Olsson, L.E., 2019. Applying a motivational stage-based approach in order to study a temporary free public transport intervention.
- Gärling, T., Karlsson, N., Romanus, J., and Selart, M. (1997). "Influences of the past on choices of the future," In R. Ranyard, R. Crozier & O. Svenson (Eds.), *Decision making: Cognitive models and explanations*, 167±188. London: Routledge
- Gärling, T., and Friman, M., 1998. *Psychological Principles of Residential Choice*. Draft chapter prepared for *Residential Environments: Choice, Satisfaction and Behavior*, J. Aragonés, G. Francescato and T. Gärling, Eds.
- Geisser, S. (1974). A predictive approach to the random effects model. *Biometrika*, 61, 101–107.
- Ghirardato P., Maccheroni F., Marinacci, M., 2004. Differentiating ambiguity and ambiguity attitude, *Journal of Economic Theory*, Volume 118, Issue 2, Pages 133-173, ISSN 0022-0531, <https://doi.org/10.1016/j.jet.2003.12.004>.
- Gigerenzer, G., and Goldstein, D. G. (1996). "Reasoning the fast and frugal way: Models of bounded rationality," *Psychological Review*, 98, 506±528.
- Gilboa, I. & Schmeidler, D., 1989. "Maxmin expected utility with non-unique prior," *Journal of Mathematical Economics*, Elsevier, vol. 18(2), pages 141-153, April.
- Glerum, A. et al. (2014) 'Forecasting the Demand for Electric Vehicles: Accounting for Attitudes and Perceptions', *Transportation Science*, 48(4), pp. 483–499. doi: 10.1287/trsc.2013.0487.
- Grace, J. B., & Bollen, K. A. (2008). Representing general theoretical concepts in structural equation models: The role of composite variables. *Environmental and Ecological Statistics*, 15(2), 191–213.
- Graham-Rowe, E., Gardner, B., Abraham, C., Skippon, S., Dittmar, H., Hutchins, R., & Stannard, J. (2012). Mainstream consumers driving plug-in battery-electric and plug-in hybrid electric cars: A qualitative analysis of responses and evaluations. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 46(1), 140-153
- Green, P. E., and Srinivasan, V. (1977), "Conjoint Analysis in Consumer Behavior: Status and Outlook," *Journal of Consumer Research*, 5, 103–23.
- Green, P. E., and Wind, Y. (1973), *Multiattribute Decisions in Marketing: A Measurement Approach*, Hinsdale, Ill: The Dryden Press.
- Guerra E., Daziano R. A., 2020. Electric vehicles and residential parking in an urban environment: Results from a stated preference experiment, *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, Volume 79, 102222, ISSN 1361-9209, <https://doi.org/10.1016/j.trd.2020.102222>.
- Hackbarth, A. and Madlener, R. (2013) 'Consumer preferences for alternative fuel vehicles: A discrete choice analysis', *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 25, pp. 5–17. doi: 10.1016/j.trd.2013.07.002.
- Haenlein, M., & Kaplan, A. M. (2004). A beginner's guide to partial least squares analysis. *Understanding Statistics*, 3, 283–297.
- Hair J., Hult G. T. M., Ringle C. M., Sarstedt M. (2017). "Le equazioni strutturali Partial Least Squares. Introduzione alla PLS- SEM". FrancoAngeli editore.
- Hair, J. F., Black, W. C., Babin, B. J., & Anderson, R. E. (2010). *Multivariate data analysis*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall.

- Hair, J. F., Ringle, C. M., & Sarstedt, M. (2011). PLS-SEM: Indeed a silver bullet. *Journal of Marketing Theory and Practice*, 19(2), 139–151.
- Hair, J. F., Sarstedt, M., Ringle, C. M., & Mena, J. A. (2012b). An assessment of the use of partial least squares structural equation modeling in marketing research. *Journal of the Academy of Marketing Science*, 40(3), 414–433
- Hammervold, R., Olsson, U.H. Testing structural equation models: the impact of error variances in the data generating process. *Qual Quant* 46, 1547–1570 (2012). <https://doi.org/10.1007/s11135-011-9466-5>
- Hauser J.R., Urban G. L., Assessment of Attribute Importances and Consumer Utility Functions: von Neumann-Morgenstern Theory Applied to Consumer Behavior, *Journal of Consumer Research*, Volume 5, Issue 4, March 1979, Pages 251–262, <https://doi.org/10.1086/208737>
- Hauser, J. (1978a), "Consumer Preference Axioms: Behavioral Postulates for Describing and Predicting Stochastic Choice," *Management Science*, 24 (September), 133
- Hauslbauer, A.L., Schade, J., Drexler, C.E., Petzoldt T., 2022. Extending the theory of planned behavior to predict and nudge toward the subscription to a public transport ticket. *Eur. Transp. Res. Rev.* 14, 5. <https://doi.org/10.1186/s12544-022-00528-3>
- Haustein S. & Jensen A. F., (2018) Factors of electric vehicle adoption: A comparison of conventional and electric car users based on an extended theory of planned behavior, *International Journal of Sustainable Transportation*, 12:7, 484-496, DOI: 10.1080/15568318.2017.1398790
- He X., Zhan W., Hu Y., (2018). Consumer purchase intention of electric vehicles in China: The roles of perception and personality, *Journal of Cleaner Production*, Volume 204,2018,Pages 1060-1069,<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.08.260>.
- Henseler, J. (2017). Using variance-based structural equation modeling for empirical advertising research at the interface of design and behavioral research. *Journal of Advertising*, 46(1), 178–192.
- Henseler, J., & Chin, W. W. (2010). A comparison of approaches for the analysis of interaction effects between latent variables using partial least squares path modeling. *Structural Equation Modeling*, 17(1), 82–109.
- Henseler, J., Dijkstra, T. K., Sarstedt, M., Ringle, C. M., Diamantopoulos, A., Straub, D. W., Ketchen, D. J., Hair, J. F., Hult, G. T. M., & Calantone, R. J. (2014). Common beliefs and reality about partial least squares: Comments on Rönkkö & Evermann (2013). *Organizational Research Methods*, 17(2), 182–209.
- Henseler, J., Dijkstra, T. K., Sarstedt, M., Ringle, C. M., Diamantopoulos, A., Straub, D. W., Ketchen, D. J., Hair, J. F., Hult, G. T. M., & Calantone, R. J. (2014). Common beliefs and reality about partial least squares: Comments on Rönkkö & Evermann (2013). *Organizational Research Methods*, 17(2), 182–209.
- Helveston, J. P. et al. (2015) 'Will subsidies drive electric vehicle adoption? Measuring consumer preferences in the U.S. and China', *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 73, pp. 96–112. doi: 10.1016/j.tra.2015.01.002.
- Henseler, J., Fassott, G., Dijkstra, T. K., & Wilson, B. (2012a). Analyzing quadratic effects of formative constructs by means of variance-based structural equation modelling. *European Journal of Information Systems*, 21(1), 99–112.
- Henseler, J., Hubona, G. S., & Ray, P. A. (2016a). Using PLS path modeling in new technology research: Updated guidelines. *Industrial Management & Data Systems*, 116(1), 1–19.
- Henseler, J., Ringle, C. M., & Sarstedt, M. (2012b). Using partial least squares path modeling in international advertising research: Basic concepts and recent issues. In S. Okazaki (Ed.), *Handbook of research in international advertising* (pp. 252–276). Cheltenham: Edward Elgar Publishing.
- Henseler, J., Ringle, C. M., & Sarstedt, M. (2015). A new criterion for assessing discriminant validity in variance-based structural equation modeling. *Journal of the Academy of Marketing Science*, 43, 115–135.
- Henseler, J., Ringle, C. M., & Sinkovics, R. R. (2009). The use of partial least squares path modeling in international marketing. *Advances in International Marketing*, 20, 277–320.
- Hess, S., Shires, J. and Jopson, A. (2013) 'Accommodating underlying pro-environmental attitudes in a rail travel context: Application of a latent variable latent class specification', *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 25, pp. 42–48. doi: 10.1016/j.trd.2013.07.003.
- Hewitt C., Politis I., Amanatidis T., and Sarkar A., 2019. Assessing Public Perception of Self-Driving Cars: the Autonomous Vehicle Acceptance Model. In 24th International Conference on Intelligent User Interfaces (IUI '19), March 17–20, 2019, Marina del Rey, CA, USA. ACM, New York, NY, USA, 11 pages. rtsmouth, NH, USA.
- Heymann F., Pereira C., Miranda V. and Soares F. J., "Spatial load forecasting of electric vehicle charging using GIS and diffusion theory," 2017 IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies Conference Europe (ISGT-Europe), 2017, pp. 1-6, doi: 10.1109/ISGTEurope.2017.8260172.
- Hidrue, M. K. et al. (2011) 'Willingness to pay for electric vehicles and their attributes', *Resource and Energy Economics*, 33(3), pp. 686–705. doi: 10.1016/j.reseneeco.2011.02.002.
- Hui, B. S., & Wold, H. O. A. (1982). Consistency and consistency at large of partial least squares estimates. In K. G. Jöreskog & H. O. A. Wold (Eds.), *Systems under indirect observation, part II* (pp. 119–130). Amsterdam: North Holland.
- Ibrahim, A.N.H.; Borhan, M.N.; Darus, N.S.; Mhd Yunin, N.A.; Ismail, R. Understanding the Willingness of Students to Use Bicycles for Sustainable Commuting in a University Setting: A Structural Equation Modelling Approach. *Mathematics* 2022, 10, 861. <https://doi.org/10.3390/math10060861>

- Ito, N., Takeuchi, K. and Managi, S. (2013) 'Willingness-to-pay for infrastructure investments for alternative fuel vehicles', *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 18, pp. 1–8. doi: 10.1016/j.trd.2012.08.004.
- Jabbari, P.; Chernicoff, W.; MacKenzie, D., 2017. Analysis of electric vehicle purchaser satisfaction and rejection reasons. *Transp. Res. Rec.*, 2628, 110–119.
- Jang S., Choi J. Y., 2021. Which consumer attributes will act crucial roles for the fast market adoption of electric vehicles?: Estimation on the asymmetrical & heterogeneous consumer preferences on the EVs, *Energy Policy*, Volume 156, 112469, ISSN 0301-4215, <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2021.112469>.
- Jensen, A. F., Cherchi, E. and Mabit, S. L. (2013) 'On the stability of preferences and attitudes before and after experiencing an electric vehicle', *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 25, pp. 24–32. doi: 10.1016/j.trd.2013.07.006.
- Ji, D., & Gan, H. (2022). 'Effects of providing total cost of ownership information on below-40 young consumers' intent to purchase an electric vehicle: A case study in China'. *Energy Policy*, 165, 112954. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2022.112954>
- Jöreskog, K. G. (1973). A general method for estimating a linear structural equation system. In A. S. Goldberger & O. D. Duncan (Eds.), *Structural equation models in the social sciences* (pp.255–284). New York: Seminar Press.
- Jörgen W. Weibull, A dual to the von Neumann-Morgenstern theorem, *Journal of Mathematical Psychology*, Volume 26, Issue 3, 1982, Pages 191-203, [https://doi.org/10.1016/0022-2496\(82\)90001-3](https://doi.org/10.1016/0022-2496(82)90001-3).
- Jöreskog K. G., 2004. On a Chi-squares for the Independence Model and Fit Measures in LISREL
- Jöreskog K.G. and Sorbon D., 1982. Recent Developments in Structural Equation Modeling. In *Journal of Marketing Research*, 19, 404-416.
- Jöreskog K.G. and Sorbon D., 1986. *Lisrel VI: Analysis of Linear Structural Relationship by Maximum Likelihood and Least Square Methods*, Mooresville, Scientific Software Inc.
- Jöreskog, K.G. & Sörbom, D. (2018). *LISREL 10 for Windows* [Computer software]. Skokie, IL: Scientific Software International, Inc.
- Junquera, B., Moreno, B. and Álvarez, R. (2016) 'Analyzing consumer attitudes towards electric vehicle purchasing intentions in Spain: Technological limitations and vehicle confidence', *Technological Forecasting and Social Change*, 109, pp. 6–14. doi: 10.1016/j.techfore.2016.05.006.
- Kahneman, D., Knetsch J. L., and Thaler R., "Experimental Tests of the Endowment Effect and the Coase Theorem," *Journal of Political Economy*, December 1990, 98, 1325-1348.
- Kahneman, D., Slovic, S. P., Slovic, P., & Tversky, A., 1982. *Judgment under uncertainty: Heuristics and biases*. Cambridge university press.
- Kahneman, D., Tversky, A. 1979. "Prospect Theory: An Analysis of Decision under Risk" (PDF). *Econometrica*. 47 (2): 263–291. CiteSeerX 10.1.1.407.1910. doi:10.2307/1914185. ISSN 0012-9682. JSTOR 1914185
- Kaufmann, L., & Gaeckler, J. (2015). A structured review of partial least squares in supply chain management research. *Journal of Purchasing and Supply Management*, 21(4), 259–272.
- Kenny, D. A. (2016). Moderation. Retrieved from <http://davidakenny.net/cm/moderation.htm>
- Keynes, John Maynard. 1948. *A Treatise on Probability*, 2nd ed. London: McMillan. First published 1921
- Kim M. J. & Hall C., 2022. The influence of personal and public health and smart applications on biking behavior in South Korea. *Journal of Consumer Behaviour*. 10.1002/cb.2076.
- Kim S., and Rasouli S. The influence of latent lifestyle on acceptance of Mobility-as-a-Service (MaaS): A hierarchical latent variable and latent class approach.
- Kim, J., Rasouli, S. and Timmermans, H. (2014) 'Expanding scope of hybrid choice models allowing for mixture of social influences and latent attitudes: Application to intended purchase of electric cars', *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 69, pp. 71–85. doi: 10.1016/j.tra.2014.08.016.
- Kline, R.B. (2011) *Principles and Practice of Structural Equation Modeling*. Guilford Press, New York.
- Knight, Frank H. 1921. *Risk, Uncertainty, and Profit*. New York: Houghton Mifflin.
- Kongklaew C, Phoungthong K, Prabpayak C, Chowdhury MS, Khan I, Yuangyai N, Yuangyai C, Techato K., 2021. Barriers to Electric Vehicle Adoption in Thailand. *Sustainability*, 13(22):12839. <https://doi.org/10.3390/su132212839>
- Koopman, b. O., 1940. "The Axioms and Algebra of Intuitive Probability," *Ann. Math.*, 41, 269-292
- Koppelman, F.S. and Lyon, P.K. (1981). Attitudinal Analysis of Travel Choice for Trips to Work or School. *Transportation Science*, 15(3), pp. 233-254
- Krause, R. M. et al. (2016) 'Assessing demand by urban consumers for plug-in electric vehicles under future cost and technological scenarios', *International Journal of Sustainable Transportation*, 10(8), pp. 742–751. doi: 10.1080/15568318.2016.1148213.
- Kruskal W. H. and Wallis W. A., 1952. Use of ranks in one-criterion variance analysis. *Journal of the American Statistical Association* 47 (260): 583–621.
- Lazarsfeld P.F. (1950a): *The Logical and Mathematical Foundation of Latent Structure Analysis*. In S.A. Stouffer et al. (eds.), *Measurement and Prediction*, Princeton University Press, Princeton, NJ, 362-412.
- Lazarsfeld P.F. (1950b): *The Interpretation and Mathematical Foundation of Latent Structure Analysis*. In S.A. Stouffer et al. (eds.), *Measurement and Prediction*, Princeton University Press, Princeton, NJ, 413-472.

- Lazarsfeld P.F. (1959): Latent Structure Analysis. In S. Koch (ed.), *Psychology: A Study of a Science*, Vol. 3. McGraw-Hill, New York.
- Lazarsfeld P.F., Henry N.W. (1968): Latent Structure Analysis. Houghton Mill, Boston.
- Li W., Long R., Chen H., Chen F., Zheng X., He Z., Zhang L., 2020. Willingness to pay for hydrogen fuel cell electric vehicles in China: A choice experiment analysis, *International Journal of Hydrogen Energy*, Volume 45, Issue 59, Pages 34346-34353, ISSN 0360-3199, <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2020.01.046>.
- Likert, R. (1932). A technique for the measurement of attitudes. *Archives of Psychology*, 22 140, 55
- Lim, M.K.; Mak, H.-Y.; Rong, Y. Toward mass adoption of electric vehicles: Impact of the range and resale anxieties. *Manuf. Serv. Oper. Manag.* 2015, 17, 101–119.
- Lin B. and Tan R., (2017). 'Estimation of the environmental values of electric vehicles in Chinese cities', *Energy Policy*, Volume 104, 2017, Pages 221-229, <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2017.01.037>.
- Loewenstein, G. (1996) "Out of control: Visceral Influences on Behavior," *Organizational Behavior and Decision Processes* 65, 272±92.
- Lohmöller, J.-B. (1989). Latent variable path modeling with partial least squares. Heidelberg: Physica.
- Loomes, G. and R. Sugden., 1983. A Rationale for Preference Reversal, *The American Economic Review* 73(3): 428-432.
- Loomes, G. and R. Sugden., 1986. Disappointment and Dynamic Consistency in Choice under Uncertainty, *The Review of Economic Studies*, Volume 53, Issue 2, Pages 271–282, <https://doi.org/10.2307/2297651>
- Loomes, G., & Sugden, R., 1982. Regret Theory: An Alternative Theory of Rational Choice Under Uncertainty. *The Economic Journal*, 92(368), 805–824. <https://doi.org/10.2307/2232669>
- Luce R. and R. Suppes (1965), "Preference, Utility, and Subjective Probability," in R. Luce R. Bush, and E. Galanter, eds., *Handbook of Mathematical Psychology*, vo John Wiley and Sons
- Luce R. D. (1956). Semiorders and a theory of utility discrimination. *Econometrica* 24, 178–191. 10.2307/1905751
- Mabit S.L., Cherchi E., Jensen A. F., Jordal-Jørgensen J., 2015. 'The effect of attitudes on reference-dependent preferences: Estimation and validation for the case of alternative-fuel vehicles', *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 82, pp. 17–28. doi: 10.1016/j.tra.2015.08.006.
- Mann, H. B. & Whitney, D. R. (1947). "On a Test of Whether one of Two Random Variables is Stochastically Larger than the Other". *Annals of Mathematical Statistics*. 18 (1): 50–60. doi:10.1214/aoms/1177730491. MR 0022058. Zbl 0041.26103.
- Marcoulides, G. A., & Chin, W. W. (2013). You write, but others read: Common methodological misunderstandings in PLS and related methods. In H. Abdi, W. W. Chin, V. Esposito Vinzi, G. Russolillo, & L. Trinchera (Eds.), *New perspectives in partial least squares and related methods* (Springer Proceedings in Mathematics & Statistics, Vol. 56, pp. 31–64). New York: Springer.
- Marschak, J. (1951). Why "should" Statisticians and Businessmen Maximize "moral Expectation"?
- Marschak, J. (1960), "Binary-Choice Constraints and Random Utility Indicators," in Arrow, S. Karlin and P. Suppes, eds., *Mathematical Methods in Social Sciences*, Stanford: Stanford University Press, 68-79.
- MARSCHAK, J. Probability in the social sciences. in F . P. Lazarsfeld (Ed.), *Mathematical thinking in the social sciences*. Glencoe: The Free Press, 1955. 2nd ed.
- Marschak, J., De Groot M. and Becker G. 1963, "Stochastic Models of Choice Behavior," *Behavioral*
- Marzano V., 2005. Sviluppo teorici sui modelli di simulazione della scelta del percorso. Tesi di dottorato
- Mateos-Aparicio, G. (2011). Partial least squares (PLS) methods: Origins, evolution, and application to social sciences. *Communications in Statistics – Theory and Methods*, 40(13), 2305–2317.
- Mau P., Eyzaguirre J., Jaccard M., Collins-Dodd C., Tiedemann K., 2008. "The 'neighbor effect': Simulating dynamics in consumer preferences for new vehicle technologies, *Ecological Economics*, Volume 68, Issues 1–2, Pages 504-516, ISSN 0921-8009. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2008.05.007>.
- McDonald, R. P. (1996). Path analysis with composite variables. *Multivariate Behavioral Research*, 31(2), 239–270
- McFadden, D. (1973), "Conditional Logit Analysis of Qualitative Choice Behavior," in P. Zarembka, *Frontiers in Econometrics*, New York: Academic Press, 105-142.
- McFadden, D. L. (1986). The Choice Theory Approach to Marketing Research. *Marketing Science*, 5(4), pp. 275-297.
- McFadden, Daniel (1970), "Conditional Logit Analysis of Qualitative Choice Behavior," in *Frontiers in Econometrics*, ed. P. Zarembka, New York: Academic Press, 105–42.
- McFadden, Daniel (1975), "The Revealed Preferences at a Government Bureaucracy: Theory," *The Bell Journal of Economics and Management Science*, 6, 2.
- McFadden, Daniel (1978), "Econometric Models for Probabilistic Choice Among Products," presented at "Interfaces Between Marketing and Economics," University of Rochester, April 7–8, *Journal of Business*.
- MENGES, G. Comparison of decision models and some suggestions. in M. Allais & O. Hagen (Eds.), *Expected utility hypotheses and the Allais paradox*. Dordrecht: Reidel, 1979.
- Mohamed, M. et al. (2016) 'Identifying and characterizing potential electric vehicle adopters in Canada: A two-stage modelling approach', *Transport Policy*, 52, pp. 100–112. doi: 10.1016/j.tranpol.2016.07.006.
- Morikawa, T. and Sasaki, K. (1998). Discrete Choice Models with Latent Variables Using Subjective Data. In: J. de D. Ortizar, D.A. Hensher, and S. Jara-Díaz, eds. *Travel Behaviour Research. Updating the State of Play*. Oxford: Pergamon.

- Morikawa, T., Ben-Akiva, M. and McFadden, D. (1996). Incorporating psychometric data in econometric choice models. Working paper. Cambridge: Massachusetts Institute of Technology.
- Mulaik, S.A. (2009). *Foundations of Factor Analysis* (2nd ed.). Chapman and Hall/CRC. <https://doi.org/10.1201/b15851>
- Murphy, K. M., Topel, R. H., 1985. Estimation and inference in two step econometric models. *Journal of Business and Economic Statistics*, 3, pp. 370-379.
- Murtiningrum A. D., Darmawan A., Wong H., 2022. The adoption of electric motorcycles: A survey of public perception in Indonesia, *Journal of Cleaner Production*, Volume 379, Part 2, 134737, ISSN 0959-6526, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.134737>.
- Nitzl, C., & Chin, W. W. (2017). The case of partial least squares (PLS) path modeling in managerial accounting. *Journal of Management Control*, 28(2), 137–156.
- Ortiz-Sánchez J. A., Ramírez-Hurtado J. M., I. Contreras, 2022 An integrated model of structural equations with cognitive and environmental factors for the study of active commuting, *Journal of Transport & Health*, Volume 24, 101319, <https://doi.org/10.1016/j.jth.2021.101319>.
- Osswald S., Wurhofer D., Trösterer S., Beck E. and Tscheligi M., 2012. Predicting Information Technology Usage in the Car: Towards a Car Technology Acceptance Model. *Proceedings of the 4th International Conference on Automotive User Interfaces and Interactive Vehicular Applications (AutomotiveUI '12)*, October 17–19, 2012, Portsmouth, NH, USA.
- Payne, J. W., Bettman, J. R., Johnson E. J. (1993). *The Adaptive Decision Maker*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Payne, J. W. (1976), "Task Complexity and Contingent Processing in Decision Making: An Information Search and Protocol Analysis," *Organizational Behavior and Human Performance*, 16 (August), 366–387.
- Payne, J. W., Bettman, J. R., & Johnson, E. J. (1990). The adaptive decision maker: Effort and accuracy in choice. In R. M. Hogarth (Ed.), *Insights in decision making: A tribute to Hillel J. Einhorn* (pp. 129–153). University of Chicago Press.
- Payne, J. W., Bettman, J. R., Coupey, E., & Johnson, E. J. (1992). A constructive process view of decision making: Multiple strategies in judgment and choice. *Acta Psychologica*, 80(1-3), 107-141. [https://doi.org/10.1016/0001-6918\(92\)90043-D](https://doi.org/10.1016/0001-6918(92)90043-D)
- Payne, J. W., J. R. Bettman and E. J. Johnson (1993). *The Adaptive Decision Maker*. Cambridge University Press, New York
- Pickens, J., 2005. Attitudes and Perceptions. *Organizational Behavior in Health Care*, 43–75.
- Pollak, R. (1967), "Additive von Neumann-Morgenstern Uti 485-494.
- Polydoropoulou, A. (1997). *Modelling User Response to Advanced Traveller Information Systems (ATIS)*. Ph.D. Department of Civil and Environmental Engineering, Massachusetts Institute of Technology
- Popper, K. R. : 1962, *Conjectures and Refutations*, Basic Books, New York and London.
- Potoglou, D. and Kanaroglou, P. S. (2007) 'Household demand and willingness to pay for clean vehicles', *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 12(4), pp. 264–274. doi: 10.1016/j.trd.2007.03.001
- Prochaska, J. O. & DiClemente, C. C. (1983). Stages and processes of self-change of smoking: Toward an integrative model of change. *Journal of Consulting and Clinical Psychology*, 51, 390-395.
- Prochaska, J. O. & DiClemente, C. C. (1986). Toward a comprehensive model of change. In W. R. Miller & N. Heather (Eds), *Treating Addictive Behaviors: Processes of Change*. New York: Plenum.
- Prochaska, J. O., Norcross, J. C. & Fowler, J. L. (1992). Attendance and outcome in a work site.
- Prochaska, J. O., DiClemente, C. C. & Norcross, J. C. (1992~). In search of how people change
- Quandt, R. (1956), "A Probabilistic Theory of Consumer Behaviour," *Quarterly Journal of Economics*, 71, 507-5
- Qian, L. and Soopramanien, D. (2011) 'Heterogeneous consumer preferences for alternative fuel cars in China', *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 16(8), pp. 607–613. doi: 10.1016/j.trd.2011.08.005.
- Qian, L. Grisolia J. M., Soopramanien D., 2019. "The impact of service and government-policy attributes on consumer preferences for electric vehicles in China". *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, Volume 122, Pages 70-84, ISSN 0965-8564. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2019.02.008>.
- Rabin, M. (1998). "Psychology and Economics," *Journal of Economic Literature*, 36, 11± 46
- RAMSEY, F. P. Truth and probability (first published in 1926). In H. E. Kyburg Jr. & H. E. Smokier (Eds.), *Studies in subjective probability*. New York: Wiley, 1964.
- Ramsey, F. P., 64, 'Truth and Probability', a 1926 lecture published in *The Foundations of Mathematics and other Logical Essays*, Routledge and Kegan Paul, London, 1931 ; *The Humanities Press*, New York, 1950. Reprinted in *Studies in Subjective Probability*
- Raveau, S., Alvarez-Daziano, R., Yáñez, M. F., Bolduc, D. and Ortúzar, J. de D., 2010. Sequential and simultaneous estimation of hybrid discrete choice models: some new findings. Presented at 89th Annual Meeting of the Transportation Research Board. Washington, USA.
- Raykov, T., & Marcoulides, G. A. (2006). *A first course in structural equation modeling*. 2nd ed. Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, Publishers
- Reinartz, W. J., Haenlein, M., & Henseler, J. (2009). An empirical comparison of the efficacy of covariance-based and variance-based SEM. *International Journal of Research in Marketing*, 26(4), 332–344.
- Rezaimeghadam, M. R., Davoodi, S. R., & Dabiri, N., 2022. Public transportation users' behavior based on theory of planned behavior. *ALAM CIPTA* Volume 15, issue 1.

- Rigdon, E. E. (2012). Rethinking partial least squares path modeling: In praise of simple methods. *Long Range Planning*, 45(5–6), 341–358.
- Rigdon, E. E. (2014a). Comment on “Improper use of endogenous formative variables”. *Journal of Business Research*, 67(1), 2800–2802.
- Rigdon, E. E. (2014b). Rethinking partial least squares path modeling: Breaking chains and forging ahead. *Long Range Planning*, 47(3), 161–167.
- Ringle, C. M., Sarstedt, M., & Straub, D. W. (2012). A critical look at the use of PLS-SEM in MIS quarterly. *MIS Quarterly*, 36(1), iii–xiv.
- Ringle, C. M., Wende, S., and Becker, J.-M. 2015. "SmartPLS 3." Boenningstedt: SmartPLS GmbH, <http://www.smartpls.com>.
- Rogers, Everett (16 August 2003). *Diffusion of Innovations*, 5th Edition. Simon and Schuster.
- Rogers, Everett M. (1962). *Diffusion of innovations* (1st ed.). New York: Free Press of Glencoe.
- Rogers, Everett M. (1983). *Diffusion of innovations* (3rd ed.). New York: Free Press of Glencoe.
- Roldán, J. L., & Sánchez-Franco, M. J. (2012). Variance-based structural equation modeling: Guidelines for using partial least squares in information systems research. In M. Mora, O. Gelman, A. L. Steenkamp, & M. Raisinghani (Eds.), *Research methodologies, innovations and philosophies in software systems engineering and information systems* (pp. 193–221). Hershey: IGI Global.
- Rudolph, C. (2016) ‘How may incentives for electric cars affect purchase decisions?’, *Transport Policy*, 52, pp. 113–120. doi: 10.1016/j.tranpol.2016.07.014.
- Russo, J. E., & Doshier, B. (1983). Strategies for Multiattribute Binary Choice. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 9, 676–696. <https://doi.org/10.1037/0278-7393.9.4.676>
- Sam, E. F., 2019. On the intention to cycle for work and school trips in Winneba, Ghana.
- Sarstedt, M., & Mooi, E. A. (2014). *A concise guide to market research: The process, data, and methods using IBM SPSS statistics* (2nd ed.). Berlin: Springer.
- Sarstedt, M., Hair, J. F., Ringle, C. M., Thiele, K. O., & Gudergan, S. P. (2016b). Estimation issues with PLS and CBSEM: Where the bias lies! *Journal of Business Research*, 69(10), 3998–4010.
- Sarstedt, Marko & Ringle, Christian & Hair, Joe. (2017). *Partial Least Squares Structural Equation Modeling*. 10.1007/978-3-319-05542-8_15-1.
- Savage, L. J., *The Foundations of Statistics*, Wiley, New York, 1954
- Schmalfuß, F., Mühl, K. and Krems, J. F. (2017) ‘Direct experience with battery electric vehicles (BEVs) matters when evaluating vehicle attributes, attitude and purchase intention’, *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 46, pp. 47–69. doi: 10.1016/j.trf.2017.01.004.
- Schmeidler, D. (1989). Subjective Probability and Expected Utility without Additivity. *Econometrica*, 57(3), 571–587. <https://doi.org/10.2307/1911053>
- Schoemaker, P.J.H. (1982): “The Expected Utility Model: its Variants, Purposes, Evidence and Limitations”, *Journal of Economic Literature* 20(2): 529-563. *Science*, 8 (January), 51-55.
- Segal, R. (1995) ‘Forecasting the Market for Electric Vehicles in California Using Conjoint Analysis’, *The Energy Journal*, 16(3). doi: 10.5547/ISSN0195-6574-EJ-Vol16-No3-4.
- Shah, R., & Goldstein, S. M. (2006). Use of structural equation modeling in operations management research: Looking back and forward. *Journal of Operations Management*, 24(2), 148–169.
- Shalender, K., Sharma, N., 2021. Using extended theory of planned behaviour (TPB) to predict adoption intention of electric vehicles in India. *Environ Dev Sustain* 23, 665–681. <https://doi.org/10.1007/s10668-020-00602-7>
- Shapiro, S. S. and Wilk, M. B. (1965). "Analysis of variance test for normality (complete samples)", *Biometrika* 52: 591–611.
- Sheng L and Zhang L, 2022. Understanding the determinants for predicting citizens’ travel mode change from private cars to public transport in China. *Front. Psychol.* 13:1007949. doi: 10.3389/fpsyg.2022.1007949.
- Simon, H. A. 1955. A Behavioral Model of Rational Choice. *The Quarterly Journal of Economics*, 69(1), 99–118. <https://doi.org/10.2307/1884852>
- Simon, H. A. 1978. Rationality as Process and as Product of Thought. *The American Economic Review*, 68(2), 1–16. <http://www.jstor.org/stable/1816653>
- Simon, H.A. (1955). A behavioral model of rational choice. *Quarterly Journal of Economics*, 69, 99–118.
- Simon, H.A. (1976). *Administrative behavior*. New York: Macmillan.
- Simon, H.A. (1978). Rationality as process and as product of thought. *American Economics Review*, 68, 1–16.
- Simon, H.A. (1979). Information processing models of cognition. *Annual Review of Psychology*, 30, 363–396.
- Soto, J. J. (2014) ‘Hybrid Choice Modelling of Alternative Fuelled Vehicles in Colombian Cities Including Second Order Structural Equations’, TRB.
- Sottile E., 2014. *Costruzione di modelli di scelta discreta ibridi per misurare gli effetti delle strategie informative sulla scelta del modo di viaggio contestualmente agli aspetti latenti*. Dottorato Di Ricerca In: Ingegneria del territorio, Università degli Studi di Cagliari.

- Sovacool B., Kester J., Noel L., de Rubens G., 2018. The demographics of decarbonizing transport: The influence of gender, education, occupation, age, and household size on electric mobility preferences in the Nordic region. *Global Environmental Change*, 52, pp. 86-100.
- Spearman, C. (1904). "General Intelligence," Objectively Determined and Measured. *The American Journal of Psychology*, 15(2), 201–292. <https://doi.org/10.2307/1412107>
- Steele, Katie Siobhan (2014) Choice models. In: Cartwright, Nancy and Montuschi, Eleonora, (eds.) *Philosophy of Social Science A New Introduction*. Oxford University Press, Oxford, UK, pp. 185-207. ISBN 9780199645107
- Steiger J.H., 1990. Structural Model Evaluation and Modification: An Interval Estimation Approach. In *Multivariate Behavioural Research*, 25, 173-180.
- Stone, M. (1974). Cross-validatory choice and assessment of statistical predictions. *Journal of the Royal Statistical Society*, 36, 111–147.
- Tanaka M., Ida T., Murakami K., Friedman L., 2014. 'Consumers' willingness to pay for alternative fuel vehicles: A comparative discrete choice analysis between the US and Japan', *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 70, pp. 194–209. doi: 10.1016/j.tra.2014.10.019.
- Taylor, S., and Todd, P.A. "Assessing IT Usage: The role of prior experience," *MIS Quarterly* (19:2), 1995a, pp. 561-570.
- Tenenhaus, M., Esposito Vinzi, V., Chatelin, Y.-M., & Lauro, C. (2005). PLS path modeling. *Computational Statistics & Data Analysis*, 48(1), 159–205.
- Thaler, R. (1991). *Quasi-Rational Economics*, Russell Sage Foundation.
- Thiele, K. O., Sarstedt, M., & Ringle, C. M. (2015). A comparative evaluation of new and established methods for structural equation modeling. In A. G. Close & D. L. Haytko (Eds.), *Proceedings of the 2015 Academy of Marketing Science Annual Conference*. Denver, CO: Academy of Marketing Science.
- Tsouros, I. and Polydoropoulou, A. (2020) 'Who will buy alternative fueled or automated vehicles: A modular, behavioral modeling approach', *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 132, pp. 214–225. doi: 10.1016/j.tra.2019.11.013.
- Tversky A. (1972). Elimination by aspects: a theory of choice. *Psychol. Rev.* 79, 281–299. 10.1037/h0032955
- Tversky, A. (1967), "A General Theory of Polynomial Conjoint Measurement," *Journal of Mathematical Psychology*, 4, 1–20.
- Tversky, A.; Kahneman, D. (1974). "Judgment under uncertainty: heuristics and biases," *Science*, v. 185, 1124±1131.
- Valeri, E. and Danielis, R. (2015) 'Simulating the market penetration of cars with alternative fuelpowertrain technologies in Italy', *Transport Policy*, 37, pp. 44–56. doi: 10.1016/j.tranpol.2014.10.003.
- Venkatesh, V. & Bala, H. 2008. Technology acceptance model 3 and a research agenda on interventions. *Decision Sciences*. [Online] 39(2): 273-315.
- Venkatesh, V. & Davis, F.D., 2000. A theoretical extension of the technology acceptance model: Four longitudinal field studies. *Management Science*. [Online] 46(2): 186–204.
- Venkatesh, V., Morris, M.G., Davis, G.B. & Davis, F.D. 2003. User acceptance of information technology: Toward a unified view. *MIS Quarterly*. [Online] 27(3): 425–478.
- Venkatesh, V., Thong, J.Y.L. & Xu, X. 2012. Consumer acceptance and use of information technology: extending the unified theory of acceptance and use of technology. *MIS Quarterly*. weight control program: Process and stages of change as process and predictors variables. *Addictive Behaviors*, 17, 35-45.
- Walker, J. L., 2001. *Extended Discrete Choice Models: Integrated Framework, Flexible error structures, and Latent variables*. PhD. Department of Civil and Environmental Engineering, Massachusetts Institute of Technology.
- Wang C., Yao X., Sinha P. N., Su H., Lee Y.K., 2022. Why do government policy and environmental awareness matter in predicting NEVs purchase intention? Moderating role of education level, *Cities*, Volume 131, 103904, ISSN 0264-2751, <https://doi.org/10.1016/j.cities.2022.103904>.
- Wilcoxon F., 1945. Individual comparison by ranking methods. *Biometrics Bulletin*, n. 1, pp. 80-83.
- Wilkie, W.I., and Pessemier, E. A. (1973), "Issues in Marketing's Use of Multiattribute Attitude Models," *Journal of Marketing Research*, 10, 428–41.
- Willaby, H. W., Costa, D. S. J., Burns, B. D., MacCann, C., & Roberts, R. D. (2015). Testing complex models with small sample sizes: A historical overview and empirical demonstration of what partial least squares (PLS) can offer differential psychology. *Personality and Individual Differences*, 84, 73–78.
- Wold H. O. A. (1975). Path models with latent variables: The NIPALS approach. In H. M. Blalock, A. Aganbegian, F. M. Borodkin, R. Boudon, & V. Capecchi (Eds.), *Quantitative sociology: International perspectives on mathematical and statistical modeling* (pp. 307–357). New York: Academic.
- Wold H. O. A. (1982). Soft modeling: The basic design and some extensions. In K. G. Jöreskog & H. O. A. Wold (Eds.), *Systems under indirect observations: Part II* (pp. 1–54). Amsterdam: North-Holland.
- Wold H. O. A. (1985). Partial least squares. In S. Kotz & N. L. Johnson (Eds.), *Encyclopedia of statistical sciences* (Vol. 6, pp. 581–591). New York: Wiley.
- Yang, Z., Lian, F., Chen, D., 2022. Impacts of Public Bicycles on Young People's Travel Mode Choices with Consideration of Chosen Intentions. *Journal of Urban Planning and Development*. 148. 10.1061/(ASCE)UP.1943-5444.0000822.
- Zeelenberg, M., & Pieters, R. (2007). A theory of regret regulation 1.0. *Journal of Consumer Psychology*, 17, 3-18.

- Zhang, Y.; Qian, Z.S.; Sprei, F.; Li, B.,2016. The impact of car specifications, prices and incentives for battery electric vehicles in Norway: Choices of heterogeneous consumers. *Transp. Res. Part C Emerg. Technol.*, 69, 386–401.
- Ziegler, A. (2012) 'Individual characteristics and stated preferences for alternative energy sources and propulsion technologies in vehicles: A discrete choice analysis for Germany', *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 46(8), pp. 1372–1385. doi: 10.1016/j.tra.2012.05.016.

Nella presente appendice viene proposta una formalizzazione matematica dei diversi modelli di scelta discreta consolidati che si possono ottenere in base alle diverse assunzioni sui residui aleatori che figurano nella definizione della funzione di utilità. In particolare la trattazione prosegue analizzando dapprima i modelli omoschedastici e poi quelli eteroschedastici.

A.1 MODELLI OMOSCHEDASTICI DI UTILITÀ ALEATORIA

Assumendo i residui aleatori i.i.d si perviene al modello più semplice di utilità aleatoria: il modello Logit Multinomiale. Quest'ultimo modello, sebbene risulti il più semplice in assoluto non tiene conto né della possibilità di conoscere diversamente le alternative, né del grado di correlazione che può esserci tra alcune alternative. Per tale motivo, nell'ambito dei modelli omoschedastici sono stati introdotti ulteriori modelli che permettano di tenere conto di questo aspetto. Considereremo quindi anche il modello Nested Logit ed il modello Cross-Nested Logit.

A.1.1. IL MODELLO LOGIT MULTINOMIALE

Il modello logit multinomiale, anche noto con la sigla MNL (dall'inglese Multinomial Logit) è il modello di utilità aleatoria più semplice, derivato assumendo che i residui aleatori siano i.i.d come una variabile di Gumbel con media nulla e parametro θ (Ben-Akiva e Lerman, 1985). Sfruttando tale modello, la probabilità di scegliere l'alternativa j fra quelle disponibili $(1, 2, \dots, m) \in I$ può essere espressa in forma chiusa come:

$$p[j] = \frac{\exp\left(\frac{V_j}{\theta}\right)}{\sum_{k=1}^m \exp\left(\frac{V_k}{\theta}\right)} \quad (\text{A.1})$$

Per come è strutturata la formula A.1 è evidente che:

- Quanto maggiore è V_j , tanto maggiore risulta la probabilità di scelta dell'alternativa j
- Quanto maggiore è il parametro di dispersione θ , tanto minore risulta la probabilità di scegliere l'alternativa j . Difatti, maggiore è il parametro di dispersione e maggiore è la varianza. Se la varianza tende ad infinito per l'utente tutte le alternative presenteranno la stessa probabilità di essere scelte, poiché l'utilità associata alle diverse alternative è affetta da un forte errore. Al contrario, se il parametro di dispersione tende a 0, anche la varianza tende a zero e dunque il modello si riduce ad un modello di scelta deterministico con probabilità di scelta dell'alternativa j pari ad 1 se l'utilità ad essa associata è superiore a quella associata ad altre alternative.

Considerando, per semplicità, un insieme di scelta di due sole alternative, A e B (in tal caso il modello è detto Logit Binomiale), la relazione tra il parametro θ e la probabilità di scegliere l'alternativa A è mostrata nella seguente figura.

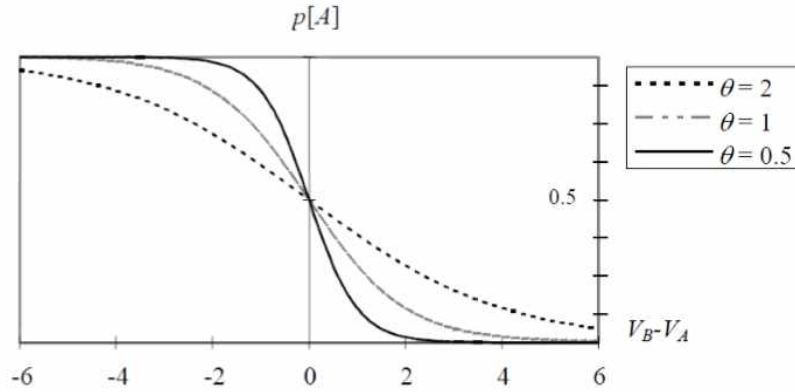


Figura 78- Relazione tra la probabilità di scegliere l'alternativa A ed il parametro θ

È facile verificare che la rapidità di variazione della probabilità di scelta di A è tanto più elevata quanto minore è θ , cioè quanto minore è la varianza dei residui aleatori. All'uguagliare del parametro θ al valore infinito, il che corrisponde ad una retta orizzontale di valore $p[A]=0.5$, corrisponde una funzione equiprobabilistica in cui tutte le alternative hanno la stessa probabilità di essere scelte.

Sfruttando ancora il modello Logit Binomiale è possibile evidenziare una proprietà dei modelli invarianti nota come *dipendenza dalle differenze di utilità sistematiche*. Nel caso di due sole alternative la probabilità di scelta si esplicita come:

$$p[j] = \frac{\exp\left(\frac{V_A}{\theta}\right)}{\exp\left(\frac{V_A}{\theta}\right) + \exp\left(\frac{V_B}{\theta}\right)} = \frac{1}{1 + \exp\left[\frac{V_B - V_A}{\theta}\right]} \quad (\text{A.2})$$

Dall'espressione precedente si evince che la probabilità di scelta dell'alternativa A dipende dalla differenza dei valori delle utilità sistematiche. Inoltre, come risulta dalla Figura 78, tale probabilità di scelta vale 0.5 se le due alternative hanno uguale utilità sistematica ($V_B - V_A = 0$), ha un andamento emisimmetrico a forma di S per valori $V_B - V_A$ positivi e negativi, tende ad 1 al tendere di $V_B - V_A$ a $-\infty$ (l'alternativa A ha un'utilità sistematica infinitamente più grande di B), mentre tende a zero al tendere di $V_B - V_A$ a $+\infty$.

La dipendenza dalle differenze di utilità sistematiche si verifica chiaramente anche nel caso di più alternative. Infatti, analogamente a quanto fatto nel logit binomiale, nel caso di più alternative, dalla (A.1) discende:

$$p[j] = \frac{1}{1 + \sum_{k \neq j} \exp\left(\frac{V_k - V_j}{\theta}\right)} \quad (\text{A.3})$$

Come già accennato il più grande limite del modello Logit Multinomiale è rappresentato da una sua proprietà che scaturisce ancora dall'assunzione che i residui aleatori siano identicamente ed indipendentemente distribuiti. Tale proprietà è nota come *Indipendenza dalle Alternative Irrilevanti* ed è spesso indicata come IIA (dall'inglese Independence from Irrelevant Alternatives). In accordo a tale proprietà il rapporto delle probabilità di scelta di due alternative è costante e indipendente dalla numerosità e dall'utilità sistematica delle altre, eventuali, alternative di scelta:

$$\frac{p[j]}{p[h]} = \frac{\exp\left(\frac{V_j}{\theta}\right)}{\sum_{k=1}^m \exp\left(\frac{V_k}{\theta}\right)} \cdot \frac{\sum_{k=1}^m \exp\left(\frac{V_k}{\theta}\right)}{\exp\left(\frac{V_h}{\theta}\right)} = \frac{\exp\left(\frac{V_j}{\theta}\right)}{\exp\left(\frac{V_h}{\theta}\right)} \quad (\text{A.4})$$

Accettare questa proprietà equivale a dire che non si tiene in alcun modo conto della correlazione fra le alternative. Si pensi ad esempio al caso di scelta tra due alternative A e B di uguale utilità sistematica. In questo caso, la probabilità di scegliere ciascuna alternativa è pari a 0.5 e il rapporto fra le probabilità di scegliere A e B è costante e pari a 1, infatti essendo i residui aleatori identicamente distribuiti il parametro θ è uguale per tutte le alternative di scelta appartenenti allo stesso insieme di scelta:

$$\frac{p[A]}{p[B]} = \frac{\exp\left(\frac{V_A}{\theta}\right)}{\exp\left(\frac{V_B}{\theta}\right)} = 1 \quad (\text{A.5})$$

Supponendo di aggiungere all'insieme di scelta una terza alternativa C, anch'essa di pari utilità sistematica ma molto simile all'alternativa B, in virtù della proprietà appena presentata, il rapporto tra le probabilità di scelta rimane invariato e di conseguenza la probabilità di scelta di ogni alternativa assume valore pari a 0.33. Stiamo quindi assumendo che la probabilità di scelta dell'alternativa A sia passata da 0.5 a 0.33 per un aumento fittizio (essendo B e C praticamente uguali) delle alternative di scelta.

In pratica, nel modello Logit Multinomiale, la variazione delle caratteristiche di un'alternativa (introduzione di una nuova o variazione degli attributi di una esistente) è tale che la variazione di probabilità di scelta di questa alternativa comporta delle variazioni proporzionali delle probabilità di tutte le altre alternative, in quanto i loro rapporti rimangono costanti. Di conseguenza, nelle applicazioni pratiche, il modello Logit Multinomiale andrebbe utilizzato in contesti di scelta con alternative sufficientemente distinte perché sia plausibile l'ipotesi di indipendenza dei residui aleatori.

Rappresentazione matematica del modello Logit Multinomiale

Da un punto di vista operativo un modello di scelta risulta essere caratterizzato dalle ipotesi fatte sui residui aleatori ε_j . Per poter rappresentare matematicamente i modelli di scelta in maniera coerente alle ipotesi fatte, si introduce la "matrice di dispersione" o "matrice di varianza-covarianza", Σ . Tale matrice è caratterizzata da un numero di righe uguali al numero di colonne ed uguali al numero delle alternative. In questa matrice:

- Gli elementi sulla diagonale principale sono rappresentativi della varianza, σ_i^2 , relativa all'i-esima alternativa.
- I restanti elementi sono rappresentativi della covarianza tra le alternative, $\sigma_{i,j}$, che rappresenta come, a coppie, le due alternative sono correlate, ovvero come due v.a variano simultaneamente.
- In maniera generale quindi una matrice varianza-covarianza assume la forma che segue:

$$\Sigma = \begin{bmatrix} & 1 & 2 & \dots & i & \dots & m \\ 1 & \sigma_1^2 & \sigma_{12} & \dots & \sigma_{1i} & \dots & \sigma_{1m} \\ 2 & \sigma_{21} & \sigma_2^2 & \dots & \sigma_{2i} & \dots & \sigma_{2m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ i & \sigma_{i1} & \sigma_{i2} & \dots & \sigma_i^2 & \dots & \sigma_{im} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ m & \sigma_{m1} & \sigma_{m2} & \dots & \sigma_{mi} & \dots & \sigma_m^2 \end{bmatrix}$$

Figura 79- Rappresentazione generica della matrice varianza-covarianza

Nel caso di un modello Logit Multinomiale, avremo:

- Valori tutti uguali delle varianze, essendo i residui aleatori identicamente distribuiti. Nello specifico avremo:

$$\sigma_i^2 = \sigma_j^2 = \sigma^2 = \frac{\pi^2 \cdot \theta^2}{6} \quad (\text{A.6})$$

- Valori delle covarianze nulle, essendo i residui aleatori indipendentemente distribuiti. Nello specifico avremo:

$$\sigma_{ij} = 0 \quad \forall i, j \in I \quad (A.7)$$

Di conseguenza, nel modello Logit Multinomiale la matrice Σ assume la forma che segue.

$$\Sigma = \frac{\pi^2}{6} \begin{bmatrix} & 1 & 2 & \dots & i & \dots & m \\ 1 & \theta^2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 2 & 0 & \theta^2 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \dots & 0 & 0 & \theta^2 & 0 & 0 & 0 \\ i & 0 & 0 & 0 & \theta^2 & 0 & 0 \\ \dots & 0 & 0 & 0 & 0 & \theta^2 & 0 \\ m & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \theta^2 \end{bmatrix}$$

Figura 80- Rappresentazione della matrice varianza-covarianza nel modello Logit Multinomiale

A. 1.2. IL MODELLO LOGIT GERARCHIZZATO

Il modello Logit Gerarchizzato, noto nella letteratura internazionale come modello Nested Logit, NL (Logit Nidificato), venne introdotto da Domencich e McFadden nel 1975, sebbene l'effettiva attribuzione della formulazione del modello ai due non sia univocamente condivisa in letteratura (Ortuzar, 2001).

Il modello è stato introdotto come un'estensione del MNL che avesse lo scopo di tener conto della correlazione tra le alternative (Ben-Akiva and Lerman, 1985); esso, infatti, rappresenta un primo passo nel rilassamento dell'ipotesi di indipendenza dei residui aleatori alla base del modello Logit Multinomiale, pur conservando un'espressione analitica chiusa.

Per superare il limite dell'IIA, il modello in esame cerca di riprodurre un modello di scelta in più step, ipotizzando che se esistono alternative simili queste ultime possano essere aggregate in un unico gruppo e che il processo di scelta si articoli in una scelta iniziale tra i gruppi ed una scelta successiva tra le alternative appartenenti a ciascun gruppo. A questo meccanismo di scelta è quindi legato il nome del modello.

Nel caso più semplice il modello Logit Gerarchizzato si compone di due soli livelli: un livello di scelta tra i gruppi (Livello 1) ed un livello di scelta tra le alternative di uno stesso gruppo (Livello 0). La tipica struttura di scelta del modello NL è illustrata nella figura che segue.

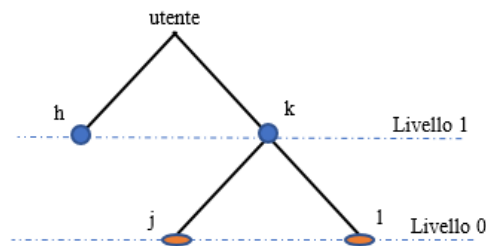


Figura 81- Struttura di un modello Nested Logit ad un livello

Coerentemente con la Figura 81, la probabilità di scegliere l'alternativa j (o l'alternativa l) può essere valutata come prodotto tra la probabilità di scegliere il gruppo k, $p[k]$, e la probabilità di scegliere l'alternativa j, data l'appartenenza al gruppo k, $p[j/k]$ (o la probabilità di scegliere l'alternativa l data l'appartenenza al gruppo k, $p[l/k]$):

$$p[j] = p[k] \cdot p[j/k] \quad (\text{A.8 a})$$

$$p[l] = p[k] \cdot p[l/k] \quad (\text{A.8 b})$$

La probabilità di scegliere l'alternativa h, invece, è semplicemente pari alla probabilità di scegliere il gruppo h, a cui appartiene solo quella alternativa.

Va sottolineato con riferimento a quanto fin qui detto che, sebbene seguendo il processo logico l'utente effettui dapprima una scelta tra i gruppi, l'utilità associata al gruppo è direttamente dipendente dall'utilità associata alle alternative che compongono il gruppo. Quanto detto risulta evidente esplicitando le probabilità di scelta che figurano nelle relazioni (A.8).

In primo luogo è necessario esprimere l'utilità associata alla generica alternativa. Anche in questo caso è possibile esplicitare l'utilità percepita come la somma di un'utilità sistematica e di un residuo aleatorio globale, ε_j . Tuttavia, si assume che l'errore di percezione globale si scomponga nella somma di due variabili aleatorie a media nulla, di cui una, η_k , assume lo stesso valore per tutte le alternative appartenenti allo stesso gruppo anche se può assumere valori diversi per i diversi gruppi; l'altra, $\tau_{j/k}$, assume valori diversi per ciascuna alternativa appartenente a ciascun gruppo. Si ipotizza inoltre che le variabili η_k e $\tau_{j/k}$ siano statisticamente indipendenti e che le $\tau_{j/k}$ siano v.a. di Gumbel indipendenti di parametro θ .

$$U_j = V_j + \varepsilon_j = V_j + \eta_k + \tau_{j/k} \quad \forall j \in I_k, \quad \forall k \quad (\text{A.9})$$

Grazie all'ipotesi fatta sulla distribuzione delle $\tau_{j/k}$ come variabili di Gumbel i.i.d. di parametro θ , la probabilità dell'alternativa j appartenente al gruppo k coincide con quella del modello Logit Multinomiale descritto al paragrafo precedente:

$$p[j/k] = \frac{\exp\left(\frac{V_j}{\theta}\right)}{\sum_{i \in I_k} \exp\left(\frac{V_i}{\theta}\right)} \quad (\text{A.10})$$

Noto come definire la probabilità dell'alternativa di livello 0 bisogna poi definire la probabilità di scelta tra i gruppi. Anche in questo caso è necessario preventivamente definire l'utilità associata al gruppo k.

Assunto che le alternative di ogni gruppo siano distribuite come una v.a. di Gumbel va sottolineato che questa tipologia di v.a. gode di una proprietà detta di *stabilità rispetto all'operatore di massimizzazione*, secondo cui il massimo di variabili di Gumbel indipendenti e di uguale parametro θ è ancora una variabile di Gumbel di parametro θ (Cascetta,2006). Di conseguenza l'utilità percepita del gruppo k coincide con la massima utilità percepita tra le alternative appartenenti al gruppo:

$$U_k^* = \max_{j \in I_k} (U_j) = \max_{j \in I_k} (V_j + \tau_{j/k}) + \eta_k \quad (\text{A.11})$$

Nell'espressione dell'utilità percepita si può sostituire alla v.a. $\max(V_j + \tau_{j/k})$ il suo valore medio (valore atteso), V_k , più lo scostamento da tale valore che è ancora una variabile di Gumbel τ_k^* di parametro θ :

$$U_k^* = V_k + \tau_k^* + \eta_k = V_k + \varepsilon_k^* \quad (\text{A.12})$$

Anch'essa è quindi la somma di un'utilità sistematica e di un residuo aleatorio. L'utilità sistematica, indicata anche come "utilità inclusiva", si esplicita come:

$$V_k = E[\max(U_j, j \in k)] = \theta Y_k \quad (\text{A.13})$$

In cui il termine Y_k prende il nome di "LOGSUM" e si esplicita come:

$$Y_k = \ln \sum_{i \in I_k} \exp\left(\frac{V_i}{\theta}\right) \quad (\text{A.14})$$

Poiché l'ipotesi alla base del modello Logit Gerarchizzato è che a ciascun livello di scelta i residui aleatori delle alternative siano i.i.d come variabili di Gumbel, anche al livello di scelta del gruppo si può ipotizzare che i residui aleatori ε_k^* siano i.i.d come variabili di Gumbel a media nulla e parametro θ_0 , $\varepsilon_k^* \sim \left[0, \frac{\pi^2 \cdot \theta_0^2}{6}\right]$.

Ne consegue che anche la probabilità di scelta del gruppo k viene espressa secondo la classica formulazione del modello MNL:

$$p[k] = \frac{\exp\left(\frac{V_k}{\theta_0}\right)}{\sum_{m \in I} \exp\left(\frac{V_m}{\theta_0}\right)} = \frac{\exp\left(\frac{\theta Y_k}{\theta_0}\right)}{\sum_{m \in I} \exp\left(\frac{\theta Y_m}{\theta_0}\right)} = \frac{\exp(\delta Y_k)}{\sum_{m \in I} \exp(\delta Y_m)} \quad (\text{A.15})$$

dove δ indica il rapporto dei parametri θ e θ_0 delle variabili di Gumbel associate ai due livelli di scelta considerati:

$$\delta = \frac{\theta}{\theta_0} \quad (\text{A.16})$$

Sostituendo le espressioni (A.10) e (A.15) nella (A.8 a) è possibile esprimere la probabilità di scelta della generica alternativa j:

$$p[j] = p[j/k] \cdot p[k] = \frac{\exp\left(\frac{V_j}{\theta}\right)}{\sum_{i \in I_k} \exp\left(\frac{V_i}{\theta}\right)} \cdot \frac{\exp(\delta Y_k)}{\sum_{m \in I} \exp(\delta Y_m)} \quad (\text{A.17})$$

Rappresentazione matematica del modello Logit Gerarchizzato

Anche nel caso del modello Logit Gerarchizzato la matrice di varianza-covarianza presenta una forma chiusa.

La varianza associata alla generica alternativa j risulta pari alla varianza del residuo aleatorio globale ε_j , infatti, essendo l'utilità sistematica un valore costante con varianza nulla si ha:

$$\text{Var}[U_j] = \text{Var}[V_j + \varepsilon_j] = \text{Var}[V_j + \eta_k + \tau_{j/k}] = \text{Var}[\eta_k + \tau_{j/k}] \quad (\text{A.18})$$

Avendo ipotizzato che le variabili η_k e $\tau_{j/k}$ siano statisticamente indipendenti, la (A.18) si può anche riscrivere come:

$$\text{Var}[U_j] = \text{Var}[\eta_k + \tau_{j/k}] = \text{Var}[\eta_k] + \text{Var}[\tau_{j/k}] \quad (\text{A.19})$$

Nella relazione (A.19) la $\text{Var}[\tau_{j/k}]$ è immediatamente definita (analogamente alla relazione 2.13), avendo ipotizzato che le $\tau_{j/k}$ siano v.a. di Gumbel di parametro θ :

$$\text{Var}[\tau_{j/k}] = \frac{\pi^2 \cdot \theta^2}{6} \quad (\text{A.20})$$

La $\text{Var}[\eta_k]$, invece, può essere ricavata dalla relazione (A.12) come segue:

$$\text{Var}[\eta_k] = \text{Var}[\varepsilon_k^*] - \text{Var}[\tau_k^*] = \frac{\pi^2 \cdot \theta_0^2}{6} - \frac{\pi^2 \cdot \theta^2}{6} \quad (\text{A.21})$$

Pertanto, sostituendo le relazioni A.21 e A.20 nella A.19 si ottiene il valore della varianza associata alla generica alternativa j:

$$\text{Var}[U_j] = \text{Var}[\eta_k] + \text{Var}[\tau_{j/k}] = \frac{\pi^2 \cdot \theta_0^2}{6} \quad (\text{A.22})$$

Il modello MNL è caratterizzato da valori di covarianza nulli, che riproducono proprio il limite del modello relativo all'indipendenza delle alternative irrilevanti. Poiché il modello NL viene sviluppato proprio per far fronte a questo limite è immediato aspettarsi alcuni valori di covarianza non nulli.

Con riferimento alla covarianza è bene ricordare che la stessa è una misura di come due v.a varino simultaneamente. Un valore di covarianza positiva tra due v.a indica che all'aumento/diminuzione dell'una corrisponde una variazione di pari segno dell'altra, di contro una covarianza negativa tra due v.a indica che le variazioni delle due v.a sono di segno opposto.

Ciò premesso, nel modello Logit Gerarchizzato, la suddivisione in gruppi è effettuata in maniera tale che le alternative correlate (simili) appartengano allo stesso gruppo. Ne consegue che per le alternative appartenenti allo stesso gruppo i valori di covarianza risulteranno non nulli, mentre risulteranno nulli i valori di covarianza tra le alternative appartenenti a gruppi diversi.

Con riferimento allo schema riportato in figura 99, la covarianza tra l'alternativa j e l'alternativa l si esplicita come il valore atteso del prodotto delle relative utilità percepite:

$$Cov_{j,l} = Cov[U_j, U_l] = E[U_j \cdot U_l] = E[(V_j + \eta_k + \tau_{j/k}) \cdot (V_l + \eta_k + \tau_{l/k})] \quad (A.23)$$

Essendo V_j e V_l dei valori costanti essi non influenzano il valore atteso del prodotto e dunque possono essere trascurati. Inoltre, essendo η_k e $\tau_{j/k}$ indipendenti, il valore atteso del prodotto di binomio è pari alla somma dei valori attesi dei prodotti. Di conseguenza, la relazione (A.23) si può ulteriormente rielaborare come segue:

$$Cov_{j,l} = E[(\eta_k + \tau_{j/k}) \cdot (\eta_k + \tau_{l/k})] \\ = E[(\eta_k \cdot \eta_k)] + E[(\eta_k \cdot \tau_{l/k})] + E[(\tau_{j/k} \cdot \eta_k)] + E[(\tau_{j/k} \cdot \tau_{l/k})] \quad (A.24)$$

Nella relazione (A.24) si ha ancora a che fare con 3 prodotti di v.a indipendenti (ultimi tre addendi) e di conseguenza, il valore atteso di questi prodotti è pari al prodotto dei valori attesi. Di conseguenza, i termini che compaiono nella relazione A.24 sono esplicitabili come segue:

$$E[\eta_k \cdot \tau_{l/k}] = E[\eta_k] \cdot E[\tau_{l/k}] \quad (A.25 a)$$

$$E[\tau_{j/k} \cdot \eta_k] = E[\tau_{j/k}] \cdot E[\eta_k] \quad (A.25 b)$$

$$E[\tau_{j/k} \cdot \tau_{l/k}] = E[\tau_{j/k}] \cdot E[\tau_{l/k}] \quad (A.25 c)$$

Ricordando che le v.a che figurano nelle (A.25) hanno una distribuzione di Gumbel a media 0 e parametro θ , è immediato concludere che i valori attesi delle stesse sono nulli e quindi che

$$E[\eta_k \cdot \tau_{l/k}] = E[\tau_{j/k} \cdot \eta_k] = E[\tau_{j/k} \cdot \tau_{l/k}] = 0 \quad (A.26)$$

Il prodotto tra due v.a. uguali, è invece pari al quadrato della v.a., il cui valore atteso risulta essere uguale alla varianza delle v.a stessa:

$$E[\eta_k \cdot \eta_k] = E[\eta_k^2] = Var[\eta_k] = Var[\varepsilon_k^*] - Var[\tau_k^*] = \frac{\pi^2 \cdot \theta_0^2}{6} - \frac{\pi^2 \cdot \theta^2}{6} \quad (A.27)$$

Pertanto, sostituendo le relazioni (A.27) e (A.26) nella (A.24) si ha che:

$$Cov_{j,l} = \frac{\pi^2 \cdot \theta_0^2}{6} - \frac{\pi^2 \cdot \theta^2}{6} \quad (A.28)$$

Dunque, se le alternative j ed l appartengono allo stesso gruppo k, la covarianza risulta essere non nulla ed assume la forma della (A.28).

Dunque, con riferimento allo schema riportato in Figura 81, la matrice di varianza-covarianza ad esso associato risulterà la seguente (Figura 82):

$$\Sigma = \frac{\pi^2}{6} \begin{bmatrix} & h & j & l \\ h & \theta_0^2 & 0 & 0 \\ j & 0 & \theta_0^2 & \theta_0^2 - \theta^2 \\ l & 0 & \theta_0^2 - \theta^2 & \theta_0^2 \end{bmatrix}$$

Figura 82- Rappresentazione della matrice varianza-covarianza nel modello Logit Gerarchizzato

A. 1.3. IL MODELLO CROSS-NESTED LOGIT

Il modello Cross-Nested Logit, CNL, può essere visto come una generalizzazione del modello NL a un livello basata sull'ipotesi che ciascuna alternativa possa contemporaneamente appartenere a più di un gruppo, con differenti gradi di appartenenza, α . Per rendere più chiaro quanto detto si riporta la struttura di correlazione di un modello CNL.

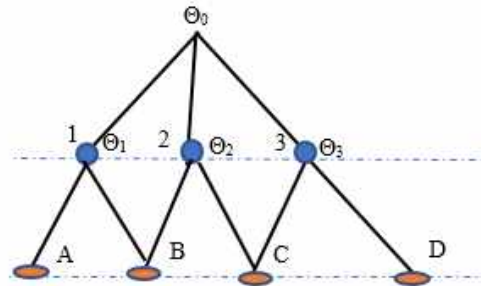


Figura 83- Struttura di correlazione CNL

Nel caso della famiglia Cross-Nested, il grafo rappresentativo della struttura di correlazione non rappresenta un albero di scelta in quanto esso non riproduce la sequenza di fasi del processo di scelta come invece accade per i modelli del tipo Logit Gerarchizzato.

Per questo modello la probabilità di scelta della generica alternativa j si può esprimere a partire dalla relazione (A.8), generalizzandola in modo da tener conto che una stessa alternativa possa appartenere a più gruppi:

$$p[j] = \sum_k p[k] \cdot p[j/k] \quad (A.29)$$

dove la sommatoria è estesa a tutti i gruppi k .

Il grado di appartenenza di un'alternativa j a un gruppo k si indica con α_{jk} ed è per definizione incluso nell'intervallo $[0,1]$. In genere si impone che i gradi di appartenenza soddisfino il vincolo di normalizzazione all'unità:

$$\sum_k \alpha_{jk} = 1 \quad \forall j \quad (\text{A.30})$$

Le espressioni analitiche delle probabilità $p[j/k]$ e $p[k]$ sono rispettivamente le seguenti:

$$p[j/k] = \frac{\alpha_{jk}^{1/\delta_k} \cdot e^{V_j/\theta_k}}{\sum_{i \in I_k} \alpha_{ik}^{1/\delta_k} \cdot e^{V_i/\theta_k}} \quad (\text{A.31 a})$$

$$p[k] = \frac{\left(\sum_{i \in I_k} \alpha_{ik}^{1/\delta_k} \cdot e^{V_i/\theta_k} \right)^{\delta_k}}{\sum_{k'} \left(\sum_{i \in I_{k'}} \alpha_{ik'}^{1/\delta_{k'}} \cdot e^{V_i/\theta_{k'}} \right)^{\delta_{k'}}} \quad (\text{A.31 b})$$

Nelle quali I_k è l'insieme delle alternative appartenenti al gruppo k , θ_k è il parametro associato al generico nodo intermedio k , θ_0 è il parametro associato al nodo radice e δ_k è il rapporto θ_k/θ_0 . Sostituendo le equazioni (A.31) nella (A.29) si ottiene:

$$p[j] = \frac{\sum_k \left[\alpha_{jk}^{1/\delta_k} \cdot e^{V_j/\theta_k} \cdot \left(\sum_{i \in I_k} \alpha_{ik}^{1/\delta_k} \cdot e^{V_i/\theta_k} \right)^{\delta_k - 1} \right]}{\sum_k \left(\sum_{i \in I_{k'}} \alpha_{ik'}^{1/\delta_{k'}} \cdot e^{V_i/\theta_{k'}} \right)^{\delta_k}} \quad (\text{A.32})$$

In analogia con il modello Logit Gerarchizzato, i parametri δ_k sono in relazione con la correlazione tra le alternative appartenenti a uno stesso gruppo k . Si può inoltre dimostrare che, ponendo $\delta_k = 1$ (cioè $\theta_k = \theta_0 \forall k$), dalla relazione precedente si perviene al modello Logit Multinomiale

$$p[j] = \frac{\sum_k \alpha_{jk} \cdot e^{V_j/\theta_0}}{\sum_k \sum_{i \in I_k} \alpha_{ik} \cdot e^{V_i/\theta_0}} = \frac{e^{V_j/\theta_0} \cdot \sum_k \alpha_{jk}}{\sum_{i \in I_k} e^{V_i/\theta_0} \cdot \sum_k \alpha_{ik}} = \frac{e^{V_j/\theta_0}}{\sum_{i \in I_k} e^{V_i/\theta_0}} \quad (\text{A.33})$$

A differenza di quanto accade per gli altri modelli della famiglia Logit, per i quali è possibile esprimere in forma chiusa gli elementi della matrice di covarianze dei residui aleatori in funzione dei parametri del modello, nel caso Cross-Nested Logit non si dispone di un'espressione in forma chiusa delle covarianze tra i residui, che possono essere calcolate solo in via numerica.

Tuttavia è disponibile in letteratura un'espressione empirica delle varianze e delle covarianze in modo che il modello Cross-Nested riproduca, come caso particolare, i risultati del Logit Gerarchizzato (Cascetta,2006):

$$Cov[\varepsilon_i, \varepsilon_j] = \frac{\pi^2 \cdot \theta_0^2}{6} \cdot \sum_k (\alpha_{ik})^{\frac{1}{2}} \cdot (\alpha_{jk})^{\frac{1}{2}} \cdot (1 - \delta_k^2) \quad (\text{A.34})$$

$$Var[\varepsilon_i] = \frac{\pi^2 \cdot \theta_0^2}{6} \cdot \sum_k (\alpha_{ik})^{\frac{1}{2}} \cdot (\alpha_{jk})^{\frac{1}{2}} = \frac{\pi^2 \cdot \theta_0^2}{6} \cdot \sum_k \alpha_{ik} = \frac{\pi^2 \cdot \theta_0^2}{6} \quad (\text{A.35})$$

La relazione A.34 approssima in maniera molto soddisfacente i valori veri della covarianza tra i residui quando i gradi di appartenenza tendono ai valori limite 0/1, mentre tende a sovrastimare le covarianze stesse negli altri casi.

A.2 MODELLI ETEROSCHEDASTICI DI UTILITÀ ALEATORIA

I modelli NL e CNL permettono di superare uno dei maggiori limiti del modello Logit, ovvero l'indipendenza delle alternative irrilevanti, derivante dal fatto che i residui aleatori risultino indipendentemente distribuiti. Tuttavia, tutti e tre i modelli presentano un ulteriore limite dovuto ad una identica distribuzione dei residui aleatori, che implica lo stesso valore di varianza per tutte le alternative. Un'analisi del problema rende evidente il limite introdotto da quanto appena detto poiché nella realtà è difficile che un utente conosca le diverse alternative di scelta allo stesso modo. Ad esempio, se un utente è abituato a muoversi con il modo "auto" è difficile che esso riesca ad avere informazioni su tutti gli attributi degli altri modi di trasporto qualora sia chiamato a fare una scelta tra i diversi modi e dunque non è possibile asserire che il livello di conoscenza del modo auto sia uguale al livello di conoscenza degli altri modi di trasporto.

Nella pratica comune sono due i modelli eteroschedastici che in genere vengono presi in considerazione: il modello Probit ed il modello Mixed Logit.

A.2.1. IL MODELLO PROBIT

Il modello Probit, anche indicato con la sigla MNP (dall'inglese Multinomial Probit), si caratterizza per l'ipotesi che il termine di errore della funzione di utilità stocastica si distribuisca secondo una variabile aleatoria Normale Multivariata (MVN) con media nulla e covarianze qualsiasi:

$$E[\varepsilon_j] = 0 \quad Var[\varepsilon_j] = \sigma_j^2 \quad Cov[\varepsilon_i, \varepsilon_h] = \sigma_{jh} \quad (A.36)$$

La funzione densità di probabilità Normale Multivariata del vettore ε si esplicita come :

$$f(\varepsilon) = \frac{\exp\left[-\frac{1}{2}\varepsilon^T \Sigma^{-1} \varepsilon\right]}{\sqrt{(2\pi)^m \det(\Sigma)}} \quad (A.37)$$

in cui:

- Σ rappresenta la matrice di varianza-covarianza, di dimensione (mxm)
- Σ^{-1} è l'inverso della matrice di varianza-covarianza
- m è il numero di alternative
- ε^T vettore trasposto dei residui aleatori

Chiaramente, le utilità percepite U_j , somma delle utilità sistematiche V_j e dei residui ε_j , sono anch'esse distribuite congiuntamente secondo una MVN con medie pari a V_j e varianze e covarianze pari a quelle dei residui ε_j .

La probabilità di scelta dell'alternativa j per il decisore i può essere espressa formalmente come la probabilità congiunta che l'utilità U_j^i assuma un valore compreso in un intervallo infinitesimo e che le utilità delle altre alternative abbiano un valore minore. Evidentemente tale probabilità va integrata per tutti i valori che U_j può assumere.

Di conseguenza, il principale problema del modello Probit risiede nel risolvere l'integrale che permette la computazione delle probabilità di scelta:

$$p(j) = \int_{\varepsilon_j=-\infty}^{\infty} \dots \int_{\varepsilon_1 < \varepsilon_j + V_j - V_1} \dots \int_{\varepsilon_n < \varepsilon_j + V_j - V_n} f(\varepsilon) d\varepsilon_1 \dots d\varepsilon_j \dots d\varepsilon_n \quad \forall j \quad (A.38)$$

Per questa espressione non è nota una soluzione in forma chiusa, e la soluzione numerica diventa poco efficiente quando si hanno più di cinque alternative (Cascetta,2006). Di conseguenza, si rendono necessari dei metodi di simulazione (metodi numerici approssimati) per la determinazione delle probabilità di scelta. Tra i primi metodi proposti per affrontare il problema va citata l'approssimazione di Clark (Clark 1961, Cascetta 2006), successivamente sostituita da nuovi metodi per via del grande onere computazionale richiesto.

Un'ulteriore ipotesi circa l'utilizzo di metodi simulativi per affrontare il problema viene formulata da Lerman e Manski (1981) che utilizzano estrazioni di tipo *Monte Carlo* dei termini di errore, per simulare gli attributi latenti delle utilità U . La stima della probabilità di scelta dell'alternativa i , successivamente denominata "crude frequency simulator" (Hajivassiliou 1993) viene allora espressa dalla frequenza con cui $U_j = \max(U_i, \dots, U_N)$.

Per essere più chiari, la generica iterazione k del metodo si articola nei seguenti passi:

- si genera un vettore $\varepsilon^k = (\varepsilon_1^k, \dots, \varepsilon_1^k)^T$ di numero pseudo-casuali estratti da una v.a normale multivariata a media nulla e matrice di dispersione Σ
- si calcola il vettore U^k delle utilità percepite campionate: $U^k = V + \varepsilon^k$
- si determina un vettore deterministico, p_k , di probabilità di scelta $p[j/\varepsilon^k]$ delle alternative, dove il valore 1 è associato alla componente di U^k di valore più elevato (alternativa di massima utilità percepita).

Quindi, dopo n iterazioni, la stima campionaria $\hat{p}[j]$ della generica probabilità $p[j]$ è:

$$\hat{p}[j] = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n p[j/\varepsilon^k] = \frac{n_j}{n} \quad (\text{A.39})$$

dove ε^k denota la k -esima estrazione del vettore ε da una MVN $(0, \Sigma)$ e n_j è il numero di volte che l'alternativa j è l'alternativa di massima utilità percepita nel campione generato.

Il metodo di simulazione Monte-Carlo, noto in letteratura anche come metodo di accettazione-rifiuto (AR), si caratterizza per due punti deboli. Infatti, da un lato, necessita di un elevato numero di estrazioni prima che le frequenze empiriche risultino buone approssimazioni delle probabilità di scelta e questo è tanto più vero quanto più la probabilità di scelta stimata risulta vicina a 0 o a 1 e, dall'altro, il simulatore può solo assumere valori discreti, in quanto il vettore di probabilità di scelta è un vettore deterministico. Il secondo punto di debolezza del metodo di simulazione Monte-Carlo può essere superato con una leggera modifica del metodo, che origina il metodo di simulazione *smoothed Monte-Carlo*. Quest'ultimo prevede che alla generica iterazione il vettore di probabilità di scelta p_k non sia deterministico, ma calcolato utilizzando un Logit Multinomiale di parametro θ .

È tuttavia utile sottolineare che le probabilità di scelta simulate con lo *smoothed Monte-Carlo* non costituiscono una stima corretta bensì approssimano le stime Probit in misura direttamente proporzionale al valore del parametro di varianza θ del Logit con il quale si calcolano le probabilità di scelta a ciascuna iterazione. Di conseguenza, il parametro θ dovrà essere scelto in modo da raggiungere un compromesso tra velocità e stabilità di convergenza, che aumentano all'aumentare di θ , ed affidabilità nelle probabilità calcolate, che si discostano da quelle Probit tanto più quanto θ è elevato.

Gli impedimenti che hanno ostacolato una ampia e diffusa applicazione del MNP sono principalmente connessi alle difficoltà nella stima che richiede l'impiego di metodi simulativi. La progressiva disponibilità di capacità di calcolo a basso costo ha posto rimedio a questo problema. Oltre a considerazioni di natura prettamente tecnica ve ne sono altre legate alla capacità di rappresentare correttamente il contesto di scelta. Difatti, il MNP presenta vantaggi e svantaggi quando lo si confronta con il MNL. In particolare il MNP garantisce una maggiore flessibilità nel rappresentare le diverse possibili strutture del termine di errore tramite una matrice di varianza-covarianza generale anche se l'ipotesi circa la distribuzione normale del termine di errore equivale ad assumere che vi sia sempre una parte della popolazione che ha un coefficiente di segno positivo (per il fatto stesso che la funzione di densità di probabilità della distribuzione normale si estende da entrambe le parti rispetto allo zero) per l'attributo costo che, inevitabilmente, pone rilevanti problemi interpretativi.

La matrice varianza-covarianza in un modello Probit

La matrice delle covarianze (simmetrica per definizione) relativa ad un contesto di scelta caratterizzato da m alternative presenta $[m(m+1)]/2$ elementi distinti. Tuttavia, sono stati proposti in letteratura diversi metodi per ridurre il numero di elementi incogniti della matrice delle covarianze. Uno dei metodi più utilizzati va sotto il nome di factor-analytic Probit o metodo di fattorializzazione del residuo aleatorio secondo il quale si ipotizza che il residuo aleatorio ε_j possa essere espresso come una combinazione lineare di variabili normali standard indipendenti tra di loro:

$$\varepsilon_j = \sum_{k=1}^n f_{jk} \zeta_k \quad (\text{A.40})$$

$$\varepsilon = F\zeta \quad (\text{A.41})$$

Dove

- f_{jk} vettore comune a più alternative
- ζ_k v.a con distribuzione normale standard, rappresentativa della componente di errore
- ε è il vettore dei residui aleatori ε_j , di dimensione $(m \times 1)$
- ζ è il vettore di v.a normali standard indipendenti ζ_k , di dimensioni $(n \times 1)$
- F è una matrice di dimensioni $(m \times n)$

Gli elementi della matrice di covarianza Σ dei residui aleatori possono essere espressi in funzione degli elementi f_{jk} della matrice F attraverso le espressioni:

$$\begin{aligned} Var[\varepsilon_j] &= E[\varepsilon_j^2] = E\left[\left(\sum_{k=1}^n f_{jk} \zeta_k\right)^2\right] = E\left[\sum_{k=1}^n f_{jk}^2 \zeta_k^2\right] \\ &= \sum_{k=1}^n f_{jk}^2 E[\zeta_k^2] = \sum_{k=1}^n f_{jk}^2 \end{aligned} \quad (\text{A.42})$$

$$\begin{aligned} Cov[\varepsilon_j, \varepsilon_h] &= E[\varepsilon_j \varepsilon_h] = E\left[\sum_{k=1}^n f_{jk} \zeta_k \cdot \sum_{k=1}^n f_{hk} \zeta_k\right] \\ &= \sum_{k=1}^n f_{jk} f_{hk} \cdot E[\zeta_k^2] = \sum_{k=1}^n f_{jk} f_{hk} \end{aligned} \quad (\text{A.43})$$

Poiché di solito risulta $n \ll m$, il numero degli elementi incogniti della matrice si riduce dagli $[m(m+1)]/2$ iniziali della matrice di covarianza agli $(m \times n)$ della matrice F .

A. !.1. IL MODELLO MIXED LOGIT

Il modello Mixed Logit, MXL, è stato introdotto al fine di poter tener conto dell'eterogeneità dei comportamenti tra gli intervistati. Esso presenta due diverse forme note in letteratura: la prima, maggiormente utilizzata, viene indicata come "MXL error components", la seconda come "MXL random parameters".

Mixed Logit error components

Seguendo l'interpretazione della letteratura proposta da Train (2003), una prima formulazione del Mixed Logit può farsi risalire alla sistematizzazione teorica dello smoothed Monte Carlo proposta da McFadden

(1989) per il calcolo delle probabilità Probit appena descritto. Si è infatti visto che alla generica iterazione dello smoothed Monte Carlo il vettore di probabilità di scelta p^k non è deterministico ma calcolato utilizzando un Logit Multinomiale di parametro θ , il cui valore condiziona la bipartizione tra velocità di convergenza e l'approssimazione delle probabilità Probit. Con riferimento a quest'ultimo aspetto, si riconosce immediatamente che il modello di utilità aleatoria cui effettivamente corrispondono le probabilità di scelta calcolate con lo smoothed Monte-Carlo assume in pratica che il residuo complessivo ε_j sia scomponibile nella somma di due aliquote λ_j e τ_j tra loro indipendenti:

$$U_j = V_j + \lambda_j + \tau_j \quad (\text{A.44})$$

dove le λ_j sono v.a. normali a media nulla e matrice di covarianza Σ e le τ_j sono v.a. indipendenti di Gumbel a media nulla e parametro di varianza θ . Il modello (A.44) è stato formalmente introdotto in letteratura da Ben-Akiva e Bolduc (1996) ed è noto in letteratura come "Multinomial Probit with Logit Kernel". In generale, le ipotesi poste sulla distribuzione dei residui λ_j e τ_j non sono restrittive in quanto essi possono seguire una distribuzione qualsiasi, e ciò genera una classe di modelli di utilità aleatoria denominati mixed models; in particolare, quando i residui τ_j sono v.a. di Gumbel indipendentemente ed identicamente distribuite il modello (A.44) è noto in letteratura come Mixed Logit.

Talvolta, il modello espresso dalla A.44 viene anche esplicitato come:

$$U_j = \alpha' X_j + \mu' Z_j + \tau_j \quad (\text{A.45})$$

in cui X_j e Z_j sono i vettori delle variabili osservabili relative all'alternativa j , α' è un vettore di coefficienti fissi, μ' è un vettore di termini aleatori con media zero e τ_j è il termine di errore identicamente ed indipendentemente distribuito. Il termine Z_j indica le componenti di errore che, assieme a τ_j , definiscono la porzione di utilità non stocastica. Dunque, in accordo a quanto riportato con la formulazione A.44, la porzione di utilità non osservabile (aleatoria) è data da $\eta_j = \mu' Z_j + \tau_j$. Si può ritenere quindi che la Z_j risulti una variabile fittizia con valore pari a 1, da introdurre per tutte le alternative eccetto una. I modelli MNL si presentano quindi come casi particolari in cui tutti i valori delle variabili fittizie Z_j risultano essere nulle e conseguentemente non vi è correlazione tra le alternative (il che conduce alla proprietà dell'IIA).

E' in ogni caso opportuno sottolineare, come evidenziato in Papola e Marzano (2004), che con il modello (A.44) non è possibile riprodurre una qualsiasi correlazione tra alternative, in quanto dalla definizione di varianza e dall'ipotesi di indipendenza tra i residui λ_j e τ_j segue che:

$$Var[\varepsilon_j] = Var[\lambda_j + \tau_j] = Var[\lambda_j] + Var[\tau_j] \quad (\text{A.46})$$

mentre la covarianza tra una coppia di residui è data da:

$$Cov[\varepsilon_j, \varepsilon_k] = Cov[\lambda_j, \lambda_k] \leq \sqrt{Var[\lambda_j]} \cdot \sqrt{Var[\lambda_k]} \quad (\text{A.47})$$

per cui si conclude che:

$$Corr[\varepsilon_j, \varepsilon_k] \leq \frac{\sqrt{Var[\lambda_j]} \cdot \sqrt{Var[\lambda_k]}}{\sqrt{Var[\lambda_j + \tau_j]} \cdot \sqrt{Var[\lambda_k + \tau_k]}} \leq 1 \quad (\text{A.48})$$

Per comprendere come la (A.44) sia perfettamente coerente con le probabilità simulate attraverso uno smoothed Monte-Carlo basta considerare che, detto λ^* un vettore di realizzazioni pseudo-casuali λ_j^* dei residui normali λ_j , la (A.44) può essere riguardata nella forma $U_j = (V_j + \lambda_j^*) + \tau_j$ ed in virtù dell'ipotesi fatta sulla distribuzione di τ_j le corrispondenti probabilità di scelta $p^{MNL}[j/\lambda^*]$ possono essere calcolate utilizzando un Logit multinomiale di parametro θ :

$$p^{MNL}[j/\lambda^*] = \frac{\exp [V_j + \lambda_j^*]}{\sum_{h \in I} \exp [V_h + \lambda_h^*]} \quad (A.49)$$

Evidentemente, detta $f(\lambda)$ la legge di densità di probabilità congiunta dei residui normali λ_j , le probabilità di scelta $p[j]$ fornite dal Mixed Logit sono date da:

$$p[j] = \int p^{MNL}[j/\lambda^*] \cdot f(\lambda) d\lambda = \frac{\exp [V_j + \lambda_j^*]}{\sum_{h \in I} \exp [V_h + \lambda_h^*]} \cdot f(\lambda) d\lambda \quad (A.50)$$

e si riconosce immediatamente che una stima corretta dell'integrale (A.50) si ottiene con uno stimatore del tipo (A.39) in cui le $p[j/\varepsilon^k]$ sono proprio le (A.49).

In pratica, stiamo dicendo che in un modello MXL la probabilità di scelta è data da un integrale di probabilità di scelta Logit. Di fatti, da un punto di vista teorico le fasi del modello MXL prevedono:

- Estrazione di un vettore casuale λ^*
- Definizione del vettore $U_j = (V_j + \lambda_j^*) + \tau_j$
- Definizione della probabilità di scelta secondo un modello Logit multinomiale (B.60)
- Integrazione rispetto alle n iterazioni (A.50)

Il modello in esame, da un punto di vista pratico, analogamente a quanto accade per il modello Probit, considera la possibilità di esprimere la variabile λ_j tramite la sua fattorializzazione:

$$\lambda_j = \sum_{k=1}^n f_{jk} \zeta_k \quad (A.51)$$

L'utilità percepita U_j dell'alternativa j può allora essere espressa come:

$$U_j = V_j + \sum_{k=1}^n f_{jk} \zeta_k + \tau_j \quad (A.52)$$

Di conseguenza, la varianza del singolo residuo può essere scritta nel seguente modo:

$$Var[\varepsilon_j] = E \left[\sum_{k=1}^n f_{jk}^2 \zeta_k^2 \right] + E[\tau_j^2] = \sum_{k=1}^n f_{jk}^2 + \frac{\pi^2 \cdot \theta^2}{6} \quad (A.53)$$

mentre la covarianza tra i residui di due alternative è ancora espressa dalla (A.43). Si noti che è possibile specificare la matrice F in maniera opportuna per ricondursi a casi notevoli di covarianze; a titolo di esempio, se $F=0$ il modello degenera in un Logit Multinomiale, mentre per ottenere una matrice di covarianza analoga a quella di un Logit Gerarchizzato ad un livello con n gruppi basta assumere la F di dimensione pari al numero di alternative per il numero di gruppi ed in modo che il generico elemento f_{ji} valga 1 se j appartiene al gruppo i-mo e 0 in caso contrario.

Dunque, la fattorializzazione della variabile λ_j permette di trasformare un problema multivariato nella somma di più problemi univariati. La principale differenza con il modello Probit sta nel fatto che il modello MXL prevede che le ζ_k siano distribuite in maniera qualsiasi, mentre nel modello Probit le ζ_k devono essere distribuite in maniera normale.

Mixed Logit random coefficient

Nel caso in cui si adotti una specificazione del tipo random coefficient l'utilità associata all'alternativa j dall'i-esimo utente è data da:

$$U_j^i = V_j^i + \varepsilon_j^i = \sum_k \beta_k X_{kj}^i + \varepsilon_j^i \quad \forall j \in I^i \quad (\text{A.54})$$

dove X_{kj}^i sono gli attributi osservabili relativi all'alternativa j e alla percezione dell'iesimo utente, β_k è il vettore dei coefficienti di queste variabili per l'i-esimo utente, ε_j^i è il residuo aleatorio identicamente ed indipendentemente distribuito.

In pratica, a differenza della precedente specificazione, anziché sdoppiare l'errore complessivo ε_j in due diverse v.a. si assume che i coefficienti di reciproca sostituzione β siano distribuiti come una v.a. al fine di rappresentare le variazioni che si hanno tra gli i-esimi intervistati.

I coefficienti variano tra i decisori con una funzione di densità identificata come $f(\beta)$. Di conseguenza, assunto che i residui aleatori ε_j siano distribuiti in accordo a quanto accade nei modelli MNL, per ogni intervistato, i, la probabilità di scelta può essere calcolata come:

$$p_j^i = \int \frac{e^{V_j^i(\beta)}}{\sum_{h \in I} e^{V_h^i(\beta)}} f(\beta) d\beta \quad (\text{A.55})$$

In fase di specificazione di tale modello si procede analogamente a quanto accade per il modello standard MNL eccetto per il fatto che bisogna considerare che il parametro β varia tra i decisori piuttosto che essere fisso.

In genere i ricercatori specificano una distribuzione dei coefficienti e stimano i parametri di quella distribuzione. In molte applicazioni la funzione di densità è stata specificata come una normale o una lognormale: $\beta \sim N(b, W)$ o $\ln \beta \sim N(b, W)$ con parametri b e W stimati. La distribuzione lognormale risulta utile quando è risaputo che il coefficiente avrà lo stesso segno per tutti i decisori, come un coefficiente di costo che è sicuramente negativo per tutti.

B.1 INDICATORI DELLA PRIMA FASE DI INDAGINE

La Tabella 87 mostra le affermazioni proposte agli intervistati nella prima fase dell'indagine. Come si può notare, alcuni degli item sono stati proposti agli intervistati con un segno inversamente correlato rispetto al tratto esaminato. Ciò è stato fatto per mantenere l'attenzione dell'intervistato, ma tutti i dati sono stati esaminati considerando un'inversione delle affermazioni con significato negativo. Ad esempio: "Alla fine della settimana non faccio un bilancio dei soldi spesi durante la settimana" = 5 diventa "Alla fine della settimana faccio un bilancio dei soldi spesi durante la settimana" = 1. Per i suddetti indicatori viene fornita anche la codifica utilizzata per l'analisi e la trattazione dei dati.

L'ultima riga della tabella è dedicata alla sintesi della definizione a posteriori della fase di cambiamento.

Tabella 87. Indicatori e costrutti raccolti nella prima fase di indagine

Tratto / Costrutto	Scala	Cod.	Indicatore	Relazione indicatore-costrutto
Percezione dei Consumi	Likert a 5 livelli	c1	Alla fine della settimana, non faccio un bilancio dei soldi spesi durante la settimana (codificata come <i>Alla fine della settimana, effettuo un bilancio dei soldi spesi</i>)	-
		c2	Presto attenzione alle offerte proposte dalle compagnie telefoniche	+
		c3	Faccio la mia spesa quotidiana solo nei supermercati più economici	+
		c4	Non scelgo i prodotti da comprare in base alle offerte sui volantini (codificata come <i>Scelgo i prodotti da comprare in base alle offerte sui volantini</i>)	-
		c5	Quando vengo all'università, porto sempre il pranzo da casa per risparmiare.	+
		c6	Faccio rifornimento senza controllare i prezzi esposti sui tabelloni davanti alle stazioni di servizio. (codificata come <i>Faccio rifornimento controllando i prezzi esposti sui tabelloni davanti alle stazioni di servizio</i>)	-
		c7	Tra una strada a pedaggio più corta e una più lunga senza pedaggio, preferisco quella senza pedaggio.	+
Attitudine verso l'ambiente	Likert a 5 livelli	a1	Non presto molta attenzione alla differenziazione dei rifiuti (codificata come <i>Presto molta attenzione alla differenziazione dei rifiuti</i>)	-
		a2	Appena possibile, trascorro il mio tempo libero nei parchi o nelle aree verdi pubbliche per respirare aria pulita.	+
		a3	Ogni città dovrebbe avere piste ciclabili e percorsi pedonali per limitare l'uso dell'automobile	+
		a4	Dovremmo tutti utilizzare articoli in plastica/carta riciclata	+
		a5	Preferisco comprare l'acqua ai distributori e non porto mai una borraccia da casa (codificata come <i>Non compro l'acqua ai distributori, ma porto una borraccia da casa</i>)	-


	a6	Lascio sempre aperto il rubinetto quando mi lavo i denti (codificata come <i>Chiudo sempre il rubinetto quando mi lavo i denti</i>)	-
	a7	Dobbiamo agire e prendere decisioni per ridurre le emissioni inquinanti	+
Attitudine verso la tecnologia	t1	Voglio essere uno dei primi a utilizzare/testare una nuova tecnologia	+
	t2	Seguo con attenzione le tendenze tecnologiche globali	+
	t3	L'utilizzo di una nuova tecnologia (nuova app, nuovo dispositivo, nuovo sistema operativo) mi provoca affaticamento mentale (codificata come <i>Non ho problemi di affaticamento mentale con l'uso di una nuova tecnologia</i>)	-
	t4	L'uso di dispositivi tecnologici peggiora la vita quotidiana delle persone (codificata come <i>L'uso di dispositivi tecnologici non peggiora la vita quotidiana delle persone</i>)	-
	t5	A parità di sistema operativo (Android 9, iOS 13) preferisco acquistare il dispositivo tecnologicamente più avanzato (ad esempio, iPhone 11 piuttosto che iPhone 8).	+
	t6	Spesso acquisto dispositivi tecnologici anche se non ne ho bisogno, semplicemente per il piacere di possederli.	+
	t7	Lo Stato deve investire in tecnologia a beneficio dei cittadini	+
	t8	Non ho piena fiducia nella tecnologia (codificata come <i>Ho piena fiducia nella tecnologia</i>)	-
Norme sociali	sn1	Ciò che leggo sui social network influenza il mio comportamento e/o il mio stile di vita	+
	sn2	Faccio acquisti seguendo le tendenze attuali (moda, prodotti biologici, ecologia)	+
	sn3	In generale, prendo le mie decisioni senza essere influenzato dalla famiglia o dagli amici (codificata come <i>In generale, prendo le mie decisioni lasciandomi influenzare dalla famiglia o dagli amici</i>)	-
	sn4	Non mi fido dei consigli degli altri (codificata come <i>Mi fido dei consigli degli altri</i>)	-
	sn5	Non mi interessano le opinioni degli altri (codificata come <i>Mi interessano le opinioni degli altri</i>)	-
	sn6	Mi piace acquistare oggetti/vestiti/tecnologie per stare al centro dell'attenzione	+
Stadi del cambiamento	1=Precontemplazione 2=Contemplazione 3= Preparazione	-	<p>Precontemplazione: se la conoscenza dei veicoli ad alimentazione alternativa è nulla o incompleta e la scelta nelle aree urbane non ricade su questi veicoli.</p> <p>-</p> <p>Contemplazione: se la conoscenza dei veicoli è completa, ma la scelta in ambito urbano non ricade sui veicoli a combustibile alternativo o, viceversa, se la scelta ricade su questi veicoli ma gli utenti non ne hanno conoscenza o ne</p>

- hanno una conoscenza incompleta.
- **Preparazione:** se gli utenti hanno una conoscenza completa dei veicoli a combustibile alternativo e la scelta in ambito urbano ricade su di essi.

B.2 NOTIZIE PUSH

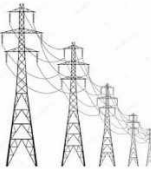
Di seguito sono riportate le schermate delle informazioni fornite ai partecipanti prima della somministrazione della terza fase dell'indagine.

Le auto elettriche sono davvero ecologiche?



- Hanno localmente emissioni zero.
- La produzione di batterie incide significativamente sulle emissioni di CO₂.
- Durante l'intero ciclo di vita del veicolo le emissioni sono inferiori rispetto ad un veicolo convenzionale.
- Lo smaltimento delle batterie produce impatti sull'ambiente.
- Impiego di nuove fonti di energia rinnovabili e riciclo batterie sono necessari per abbattere ulteriormente le emissioni.


La rete elettrica può sostenere le auto elettriche?



In Italia il consumo di energia nel 2019 è stato di 320 TWh.


- Se il numero delle auto elettriche fosse di 1 milione consumerebbero 2,4 TWh, equivalente allo 0,75% del totale.
- Non è possibile installare dispositivi di ricarica in qualsiasi punto della rete elettrica.

Le auto elettriche sono pericolose?



- Hanno standard di sicurezza molto elevati.
- In rischio di incendio è molto più basso rispetto alle vetture convenzionali (rapporto di circa 1-4).
- In caso di incendio il flusso di energia delle batterie si blocca istantaneamente.
- In caso di incendio necessità di procedure specifiche di intervento.
- Secure anche in caso di pioggia. La "gabbia di Faraday" la protegge da fulmini e scariche elettriche.


Come si guida un'auto elettrica?



- Le auto elettriche non sono dotate di cambio.
- Il motore di un'auto elettrica non produce alcun rumore.
- Muoversi in silenzio può creare rischi in presenza di pedoni o ciclisti.
- Garantiscono prestazioni di guida elevate, soprattutto in accelerazione. (Da 0-100 in tempi minori rispetto ad un'auto convenzionale)
- Utilizzo ridotto del freno. Rilasciando l'acceleratore l'auto rallenta in maniera molto decisa.

Figura 84 –Aggiornamenti informativi tra la seconda e la terza fase dell'indagine - immagini informative generali

Ansia da ricarica?




- Permettono di effettuare spostamenti urbani ed extraurbani, con un'autonomia di almeno 200 km.
- Necessaria una pianificazione delle attività coerente con i luoghi di ricarica e i tempi di ricarica
- Il 90% degli spostamenti in auto è inferiore a 200 km al giorno.
- Possono essere caricate tranquillamente con la rete elettrica domestica (6kW).
- Potresti non avere la possibilità di ricaricare a casa. (Necessità di box auto o parcheggi privati)
- Previsto un importante incremento delle colonnine tra il 2020 e il 2021.

Dove ricaricare un'auto elettrica durante un viaggio?

- Nelle aree di sosta
- Colonnine pubbliche
- Gallerie commerciali, Supermercati, Hotel...

Il numero delle colonnine pubbliche di ricarica è in continuo aumento
Da 4200 colonnine presenti in Italia nel 2018 siamo passati a 6200 nel 2019.
Sono, inoltre, circa 10000 le stazioni di ricarica private installate.



Come posso ricaricare un'auto elettrica?

Esistono differenti dispositivi per la ricarica di un veicolo elettrico, caratterizzati da potenza e tempi di ricarica differenti.

	Potenza dispositivo di ricarica	Ambito di applicazione	Tempi di ricarica *
1. Ricarica lenta	3,7 kW	Privato	10 ore
2. Ricarica lenta	7,4 kW	Privato	6 - 8 ore
3. Ricarica accelerata	11 kW	Privato Pubblico	2 - 3 ore
4. Ricarica accelerata	22 kW	Privato Pubblico	1 - 2 ore

* (tempi di ricarica che consentono un'autonomia di 250 km per un veicolo di fascia media)

Quanto costa ricaricare un'auto elettrica?

Il costo della ricarica di un'auto elettrica varia a seconda del tipo di colonnina usata e dalla sua potenza.

	Tariffa	Costo di una ricarica completa
Ricarica domestica (3 kW)	0,20 - 0,25 €/kWh	8-10 €
Ricarica colonnine pubbliche (11/22 kW)	0,45 - 0,5 €/kWh	18-20 €

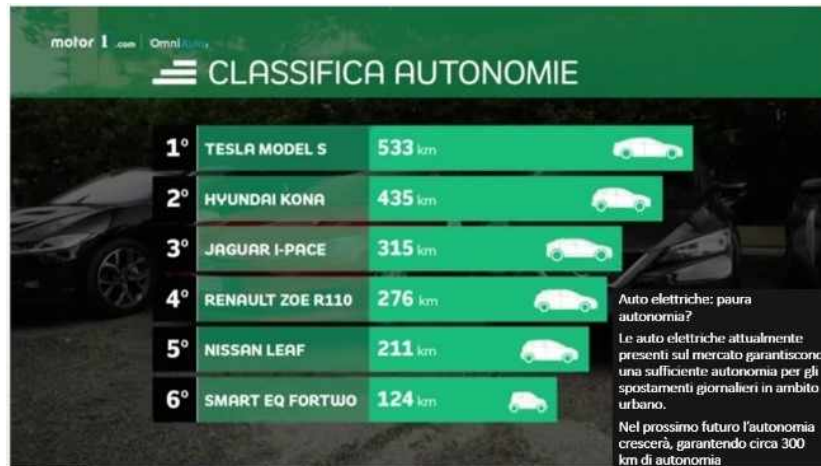


Figura 85 –Aggiornamenti informativi tra la seconda e la terza fase dell'indagine - Immagini con informazioni sulla ricarica e sull'autonomia

🚗 Auto elettriche costose ? 💰💰

Il **costo iniziale** è sicuramente più alto rispetto ad un veicolo convenzionale, tuttavia hanno **consumi** ridotti e **costi di manutenzione** più bassi e possono avere **agevolazioni** in termini di **polizze assicurative** (meno il 30-40%), accesso a **ZTL**, **tariffe di sosta** ridotte.

🚗 Ricaricare un'auto elettrica ? 🏠🔌 Possibilità di ricarica a **casa** o tramite **colonnine pubbliche**. Il numero delle colonnine, attualmente circa **8000**, è in **continuo aumento**. Nel prossimo futuro saranno installate anche in centri commerciali e hotel. È chiaro che i **luoghi** e i **tempi di ricarica** vanno pianificati per tempo ⌚ !

💡 Molti Stati hanno stabilito una **deadline** per la vendita dei **veicoli a combustione interna**. Entro il **2025** in **Norvegia** e **Olanda**, da sempre in prima fila per la mobilità sostenibile, non sarà più possibile acquistare un'auto a combustione interna. A seguire **India** (**2030**), **Francia** e **Regno Unito** nel **2040**



🌍🚗 Auto elettriche vs impatti ambientali.

Le auto elettriche garantiscono **emissioni zero su strada**, ma la produzione e lo smaltimento batterie sono operazioni con importanti impatti sull'ambiente. Utilizzare fonti di **energia rinnovabile** e **riciclare la batteria** ♻️ costituiscono la soluzione per avere **globalmente** impatti zero 🌍 !!

Figura 86 –Aggiornamenti informativi tra la seconda e la terza fase dell'indagine – Messaggi di testo

B.3 INDICATORI DELLA TERZA FASE DI INDAGINE

Infine, la Tabella 88 mostra le affermazioni utilizzate per indagare i tratti descritti nella terza fase dell'indagine. Anche in questo caso, alcune di esse sono state presentate ai partecipanti con un segno discorde rispetto al tratto indagato, ma l'analisi è stata condotta riconvertendole.

Le ultime due righe della tabella sono dedicate alla sintesi della suddivisione utilizzata per identificare l'intenzione comportamentale e il comportamento effettivo.

Tabella 88. Indicatori e costrutti raccolti nella terza fase di indagine

Tratto/ Costrutto	Scala	Cod.	Indicatore	Relazione indicatore- costrutto
Attitudine verso gli EV	Likert a 5 livelli	Att1	Ritengo che i veicoli elettrici possano essere vantaggiosi per l'ambiente	+
		Att2	Sono affascinato dalla tecnologia dei veicoli elettrici	+
		Att3	Penso che i veicoli elettrici siano solo un fenomeno temporaneo (codificata come <i>Penso che i veicoli elettrici non siano un fenomeno temporaneo</i>)	-
		Att4	Ho un atteggiamento positivo nei confronti dell'uso dei veicoli elettrici.	+
		Att5	Non mi piace l'idea di guidare un veicolo elettrico (codificata come <i>Mi piace l'idea di guidare un veicolo elettrico</i>)	-
Norme Soggettive	Likert a 5 livelli	SN1	Il veicolo elettrico è percepito negativamente dalla società (codificata come <i>Il veicolo elettrico è percepito positivamente dalla società</i>)	-
		SN2	Guidare un veicolo che attiri l'attenzione è importante per me	+
		SN3	Le persone che frequento mi giudicherebbero negativamente se comprassi un'auto elettrica (codificata come <i>Le persone che frequento mi giudicherebbero positivamente se comprassi un'auto elettrica</i>)	-
		SN4	La mia famiglia mi sosterebbe nella decisione di acquistare un'auto elettrica.	+
		SN5	L'acquisto di un'auto elettrica contribuisce alla sostenibilità ambientale del nostro pianeta.	+
Perceived Behavioral Control		PBC1	In futuro le auto con motore a combustione interna (benzina, diesel, GPL e gas naturale) non potranno entrare nei centri urbani.	+
		PBC2	Sarà molto difficile ricaricare un'auto elettrica in casa (codificata come <i>Non sarà molto difficile ricaricare un'auto elettrica in casa</i>)	-
		PBC3	Sarà impegnativo pianificare la ricarica di un'auto elettrica (codificata come <i>Non sarà impegnativo pianificare la ricarica di un'auto elettrica</i>)	-
		PBC4	La nostra società offrirà gli strumenti e le tecnologie (sistemi di ricarica) necessari per l'utilizzo di un'auto elettrica.	+
		PBC5	I tempi di ricarica di un'auto elettrica non sono compatibili con le mie attività lavorative e non (codificata come <i>I tempi di ricarica di un'auto elettrica sono compatibili con le mie attività lavorative e non</i>)	-

	PBC6	L'autonomia dell'auto elettrica (200 km) sarà sufficiente a coprire la maggior parte dei miei spostamenti urbani.	+	
Vantaggi relative degli EV	Likert a 5 livelli	Per favore, il grado di accordo con la seguente affermazione:		
		Le auto elettriche riducono l'inquinamento	+	
	Likert a 5 livelli	In fase di acquisto di un veicolo, quanto sono importanti per lei le seguenti caratteristiche?		
		Costo di acquisto	-	
		Costo di mantenimento	+	
		Consumi	+	
		Autonomia con un pieno/con una carica completa	-	
		Tempi per il rifornimento/la ricarica	-	
		Velocità massima	-	
		Accelerazione	+	
		Casa automobilistica e varietà di modelli	-	
		Infrastrutture per il rifornimento/la ricarica	-	
		Rispetto per l'ambiente	+	
		Riduzione delle emissioni (CO2, PM10)	+	
Riduzione dell'inquinamento acustico	+			
Motivi per acquistare o meno un veicolo elettrico	Selezionare un massimo di 3 motivi per acquistare un veicolo elettrico: Costo di acquisto, Costo di mantenimento, Consumi, Autonomia con una ricarica completa, Tempo di ricarica, Velocità massima, Prestazioni di accelerazione, Varietà di marche e modelli, Infrastruttura per le stazioni di rifornimento/ricarica, Rispetto per l'ambiente, Riduzione delle emissioni (CO2, PM10), Riduzione dell'inquinamento acustico			
	Selezionare un massimo di 3 motivi per NON acquistare un veicolo elettrico: Costo di acquisto, Costo di mantenimento, Consumi, Autonomia con una ricarica completa, Tempo di ricarica, Velocità massima, Prestazioni di accelerazione, Varietà di marche e modelli, Infrastruttura per le stazioni di rifornimento/ricarica, Rispetto per l'ambiente, Riduzione delle emissioni (CO2, PM10), Riduzione dell'inquinamento acustico			
Intenzione comportamentale, BI	1= Convenzionali 2= Biofuel 3= Elettrificate	Scelta relativa al primo scenario proposto nella terza fase del sondaggio		
Effettivo comportamento, AB	1= Convenzionali 2= Biofuel 3= Elettrificate	Scelte relative agli scenari 2-8 proposti nella terza fase del sondaggio		

DESCRIZIONE ATTRIBUTI CHE ENTRANO NEI MODELLI DI SCELTA

La Tabella 89 riassume una breve descrizione degli attributi ottenuti dall'elaborazione dei dati e che possono entrare direttamente nelle funzioni di utilità. In essa sono raccolte anche degli attributi dummies rappresentativi delle domande attitudinali proposte nella prima fase dell'indagine. La loro presenza è legata al fatto che, anche quando non si ricorre a modelli a variabili latenti, spesso nella pratica si cerca di tenere in conto comunque di alcuni aspetti attitudinali, introducendo le informazioni raccolte come variabili dummies. In questo contesto questa soluzione è stata adottata, pur non riconoscendola come pienamente corretta. D'altro canto, è stato verificato che la presenza o meno di questi attributi, quando risultati significativi, comporta una differenza praticamente nulla rispetto ai modelli in cui essi non sono presenti.

Tabella 89. Attributi che figurano nelle funzioni di utilità e relativa descrizione

Categoria	ATTRIBUTO	DESCRIZIONE
Socioeconomici	Gen_F	Genere dell'intervistato (1=maschio;0=femmina)
	Gen_M	Genere dell'intervistato (1=femmina;0=maschio)
	Meno_di_25	Età degli intervistati(1 se l'età degli intervistati è compresa tra 25 e 30anni)
	Piu_di_25	Età degli intervistati(1 se l'età degli intervistati è compresa tra 20 e 24anni)
	Centro_storico	Zona di residenza degli intervistati (1 se l'intervistato vive in centro storico)
	Ridosso_zona_centrale	Zona di residenza degli intervistati (1 se l'intervistato vive a ridosso del centro storico)
	Periferia	Zona di residenza degli intervistati (1 se l'intervistato vive in periferia)
	studente	Occupazione dell'intervistato (1 se studente)
	studente_e_occupato	Occupazione dell'intervistato (1 se studente ed occupato)
	studente_in_cerca_di_occupazi one	Occupazione dell'intervistato (1 se studente in cerca di occupazione)
	occupato	Occupazione dell'intervistato (1 se occupato)
	in_cerca_di_occupazione	Occupazione dell'intervistato (1 se attualmente non occupato ma in cerca di occupazione)
	Studenti	Ricavato dalla somma di studente+studente_e_occupato+studente_in_cerca_di_occupazione.
	componenti_del_nucleo_famili are	Numero di componenti del nucleo familiare dell'intervistato
	patentati	Numero di componenti patentati all'interno del nucleo familiare
	Componenti_della_famiglia_m aggiorenni	Numero di componenti maggiorenni all'interno del nucleo familiare
	Patente_No	Possesso patente di guida B (1 se intervistato non possiede la patente)
	Patente_Si	Possesso patente di guida B (1 se intervistato possiede la patente)
	auto_nucleo_fam_no	Possesso auto in famiglia (1 se intervistato non possiede nessuna auto)

	auto_nucleo_fam_si	Possesso auto in famiglia (1 se intervistato possiede almeno un'auto)
	Autoveicoli_in_famiglia	Numero di autoveicoli presenti nella famiglia dell'intervistato
	Moto_e_motocicli_in_famiglia	Numero di moto e motocicli presenti nella famiglia dell'intervistato
	Auto_su_patentati	Indicatore ottenuto come rapporto tra il numero di auto ed il numero di patentati in famiglia (valore continuo)
	Decido_no	Decisione in merito all'acquisto di una nuova auto(1 se l'intervistato non ha potere decisionale in merito all'acquisto)
	Decido_si	Decisione in merito all'acquisto di una nuova auto(1 se l'intervistato ha potere decisionale in merito all'acquisto)
Caratteristiche degli spostamenti e delle auto possedute	Park_Box	Tipo di parcheggio per auto principale (1 se l'intervistato possiede un box privato)
	Park_Parco	Tipo di parcheggio per auto principale (1 se l'intervistato vive in un parco residenziale)
	Park_Strada	Tipo di parcheggio per auto principale (1 se l'intervistato parcheggia in strada)
	Convenzionale	Tipo di alimentazione posseduta (1 se l'intervistato possiede un'auto convenzionale)
	Almeno_un_ibrida	Tipo di alimentazione posseduta (1 se l'intervistato possiede almeno un'auto ibrida)
	Almeno_una_bifuel	Tipo di alimentazione posseduta (1 se l'intervistato possiede almeno un'auto bifuel)
	Unisa_auto	Modalità di trasporto usata per raggiungere l'università(1 se l'intervistato utilizza l'auto)
	Unisa_bus	Modalità di trasporto usata per raggiungere l'università(1 se l'intervistato utilizza l'autobus)
	Unisa_carpool	Modalità di trasporto usata per raggiungere l'università(1 se l'intervistato utilizza il carpooling)
	Unisa_piedi	Modalità di trasporto usata per raggiungere l'università(1 se l'intervistato si sposta a piedi)
	Casa_svago_auto	Spostamento motivo svago(1 se l'intervistato utilizza l'auto)
	Casa_svago_bus	Spostamento motivo svago(1 se l'intervistato utilizza l'autobus)
	Casa_svago_carpool	Spostamento motivo svago(1 se l'intervistato utilizza il carpooling)
	Casa_svago_piedi	Spostamento motivo svago(1 se l'intervistato si sposta a piedi)
	finoadiecikm	Km percorsi al giorno in auto(1 se l'intervistato percorre fino a 10 km al giorno)
	dieci_trentakm	Km percorsi al giorno in auto(1 se l'intervistato percorre 10-30 km al giorno)
	oltre_trentakm	Km percorsi al giorno in auto(1 se l'intervistato percorre più di 30 km al giorno)
	Bilancio_soldi_sett_1	Importanza attribuita al bilancio soldi(1 se il valore attribuito è 1=per nulla d'accordo)

Dimensione Consumi	Bilancio_soldi_sett_2	Importanza attribuita al bilancio soldi(1 se il valore attribuito è 2=poco d'accordo)
	Bilancio_soldi_sett_3	Importanza attribuita al bilancio soldi(1 se il valore attribuito è 3=abbastanza d'accordo)
	Bilancio_soldi_sett_4	Importanza attribuita al bilancio soldi(1 se il valore attribuito è 4=molto d'accordo)
	Bilancio_soldi_sett_5	Importanza attribuita al bilancio soldi(1 se il valore attribuito è 5=fortemente d'accordo)
	Offerte_gest_tel_1	Importanza attribuita alle offerte telefoniche(1 se il valore attribuito è 1)
	Offerte_gest_tel_2	Importanza attribuita alle offerte telefoniche(1 se il valore attribuito è 2)
	Offerte_gest_tel_3	Importanza attribuita alle offerte telefoniche(1 se il valore attribuito è 3)
	Offerte_gest_tel_4	Importanza attribuita alle offerte telefoniche(1 se il valore attribuito è 4)
	Offerte_gest_tel_5	Importanza attribuita alle offerte telefoniche(1 se il valore attribuito è 5)
	Spesa_economica_1	Importanza attribuita alla spesa in supermercati economici (1 se il valore attribuito è 1)
	Spesa_economica_2	Importanza attribuita alla spesa in supermercati economici (1 se il valore attribuito è 2)
	Spesa_economica_3	Importanza attribuita alla spesa in supermercati economici (1 se il valore attribuito è 3)
	Spesa_economica_4	Importanza attribuita alla spesa in supermercati economici (1 se il valore attribuito è 4)
	Spesa_economica_5	Importanza attribuita alla spesa in supermercati economici (1 se il valore attribuito è 5)
	Off_volantini_1	Importanza attribuita alle offerte presenti sui volantini (1 se il valore attribuito è 1)
	Off_volantini_2	Importanza attribuita alle offerte presenti sui volantini (1 se il valore attribuito è 2)
	Off_volantini_3	Importanza attribuita alle offerte presenti sui volantini (1 se il valore attribuito è 3)
	Off_volantini_4	Importanza attribuita alle offerte presenti sui volantini (1 se il valore attribuito è 4)
	Off_volantini_5	Importanza attribuita alle offerte presenti sui volantini (1 se il valore attribuito è 5)
	Pedaggio_1	Importanza attribuita al percorrere una strada più lunga ma senza pedaggio (1 se il valore attribuito è 1)
	Pedaggio_2	Importanza attribuita al percorrere una strada più lunga ma senza pedaggio (1 se il valore attribuito è 2)
	Pedaggio_3	Importanza attribuita al percorrere una strada più lunga ma senza pedaggio (1 se il valore attribuito è 3)
	Pedaggio_4	Importanza attribuita al percorrere una strada più lunga ma senza pedaggio (1 se il valore attribuito è 4)
	Pedaggio_5	Importanza attribuita al percorrere una strada più lunga ma senza pedaggio (1 se il valore attribuito è 5)

	Pranzo_casa_1	Importanza di portare il pranzo da casa (1 se il valore attribuito è 1)
	Pranzo_casa_2	Importanza di portare il pranzo da casa (1 se il valore attribuito è 2)
	Pranzo_casa_3	Importanza di portare il pranzo da casa (1 se il valore attribuito è 3)
	Pranzo_casa_4	Importanza di portare il pranzo da casa (1 se il valore attribuito è 4)
	Pranzo_casa_5	Importanza di portare il pranzo da casa (1 se il valore attribuito è 5)
	Rifornimento_carburante_1	Importanza attribuita al prezzo del carburante (1 se il valore attribuito è 1)
	Rifornimento_carburante_2	Importanza attribuita al prezzo del carburante (1 se il valore attribuito è 2)
	Rifornimento_carburante_3	Importanza attribuita al prezzo del carburante (1 se il valore attribuito è 3)
	Rifornimento_carburante_4	Importanza attribuita al prezzo del carburante (1 se il valore attribuito è 4)
	Rifornimento_carburante_5	Importanza attribuita al prezzo del carburante (1 se il valore attribuito è 5)
Dimensione Ambiente	Diff_rifiuti_1	Importanza attribuita alla differenziazione dei rifiuti (1 se il valore attribuito è 1)
	Diff_rifiuti_2	Importanza attribuita alla differenziazione dei rifiuti (1 se il valore attribuito è 2)
	Diff_rifiuti_3	Importanza attribuita alla differenziazione dei rifiuti (1 se il valore attribuito è 3)
	Diff_rifiuti_4	Importanza attribuita alla differenziazione dei rifiuti (1 se il valore attribuito è 4)
	Diff_rifiuti_5	Importanza attribuita alla differenziazione dei rifiuti (1 se il valore attribuito è 5)
	tempo_parchi_1	Importanza attribuita al trascorrere il tempo libero in parchi o aree verdi(1 se il valore attribuito è 1)
	tempo_parchi_2	Importanza attribuita al trascorrere il tempo libero in parchi o aree verdi(1 se il valore attribuito è 2)
	tempo_parchi_3	Importanza attribuita al trascorrere il tempo libero in parchi o aree verdi(1 se il valore attribuito è 3)
	tempo_parchi_4	Importanza attribuita al trascorrere il tempo libero in parchi o aree verdi(1 se il valore attribuito è 4)
	tempo_parchi_5	Importanza attribuita al trascorrere il tempo libero in parchi o aree verdi(1 se il valore attribuito è 5)
	Piste_ciclabili_pedonali_1	Importanza attribuita alla presenza di piste ciclabili e pedonali(1 se il valore attribuito è 1)
	Piste_ciclabili_pedonali_2	Importanza attribuita alla presenza di piste ciclabili e pedonali(1 se il valore attribuito è 2)
	Piste_ciclabili_pedonali_3	Importanza attribuita alla presenza di piste ciclabili e pedonali(1 se il valore attribuito è 3)
	Piste_ciclabili_pedonali_4	Importanza attribuita alla presenza di piste ciclabili e pedonali(1 se il valore attribuito è 4)
	Piste_ciclabili_pedonali_5	Importanza attribuita alla presenza di piste ciclabili e pedonali(1 se il valore attribuito è 5)
	Plastica_carta_riciclata_1	Importanza attribuita all'utilizzo di plastica e carta riciclata (1 se il valore attribuito è 1)

	Plastica_carta_riciclata_2	Importanza attribuita all'utilizzo di plastica e carta riciclata (1 se il valore attribuito è 2)
	Plastica_carta_riciclata_3	Importanza attribuita all'utilizzo di plastica e carta riciclata (1 se il valore attribuito è 3)
	Plastica_carta_riciclata_4	Importanza attribuita all'utilizzo di plastica e carta riciclata (1 se il valore attribuito è 4)
	Plastica_carta_riciclata_5	Importanza attribuita all'utilizzo di plastica e carta riciclata (1 se il valore attribuito è 5)
	Rubinetto_aperto_1	Importanza attribuita al risparmio d'acqua(1 se il valore attribuito è 1)
	Rubinetto_aperto_2	Importanza attribuita al risparmio d'acqua(1 se il valore attribuito è 2)
	Rubinetto_aperto_3	Importanza attribuita al risparmio d'acqua(1 se il valore attribuito è 3)
	Rubinetto_aperto_4	Importanza attribuita al risparmio d'acqua(1 se il valore attribuito è 4)
	Rubinetto_aperto_5	Importanza attribuita al risparmio d'acqua(1 se il valore attribuito è 5)
	Borraccia_si_1	Importanza attribuita all'utilizzo di una borraccia (1 se il valore attribuito è 1)
	Borraccia_si_2	Importanza attribuita all'utilizzo di una borraccia (1 se il valore attribuito è 2)
	Borraccia_si_3	Importanza attribuita all'utilizzo di una borraccia (1 se il valore attribuito è 3)
	Borraccia_si_4	Importanza attribuita all'utilizzo di una borraccia (1 se il valore attribuito è 4)
	Borraccia_si_5	Importanza attribuita all'utilizzo di una borraccia (1 se il valore attribuito è 5)
	decisioni_emissioni_1	Importanza attribuita alla necessità di provvedimenti per la riduzione delle emissioni (1 se il valore attribuito è 1)
	decisioni_emissioni_2	Importanza attribuita alla necessità di provvedimenti per la riduzione delle emissioni (1 se il valore attribuito è 2)
	decisioni_emissioni_3	Importanza attribuita alla necessità di provvedimenti per la riduzione delle emissioni (1 se il valore attribuito è 3)
	decisioni_emissioni_4	Importanza attribuita alla necessità di provvedimenti per la riduzione delle emissioni (1 se il valore attribuito è 4)
	decisioni_emissioni_5	Importanza attribuita alla necessità di provvedimenti per la riduzione delle emissioni (1 se il valore attribuito è 5)
Dimensione tecnologia	early_adapter_1	Importanza attribuita al provare o testare per primo una nuova tecnologia (1 se il valore attribuito è 1)
	early_adapter_2	Importanza attribuita al provare o testare per primo una nuova tecnologia (1 se il valore attribuito è 2)
	early_adapter_3	Importanza attribuita al provare o testare per primo una nuova tecnologia (1 se il valore attribuito è 3)
	early_adapter_4	Importanza attribuita al provare o testare per primo una nuova tecnologia (1 se il valore attribuito è 4)

early_adapter_5	Importanza attribuita al provare o testare per primo una nuova tecnologia (1 se il valore attribuito è 5)
Tendenze_tecnologiche_1	Importanza attribuita all'attenzione alle tendenze tecnologiche (1 se il valore attribuito è 1)
Tendenze_tecnologiche_2	Importanza attribuita all'attenzione alle tendenze tecnologiche (1 se il valore attribuito è 2)
Tendenze_tecnologiche_3	Importanza attribuita all'attenzione alle tendenze tecnologiche (1 se il valore attribuito è 3)
Tendenze_tecnologiche_4	Importanza attribuita all'attenzione alle tendenze tecnologiche (1 se il valore attribuito è 4)
Tendenze_tecnologiche_5	Importanza attribuita all'attenzione alle tendenze tecnologiche (1 se il valore attribuito è 5)
Peggioramento_vita_1	Importanza attribuita agli effetti della tecnologia (1 se il valore attribuito è 1)
Peggioramento_vita_2	Importanza attribuita agli effetti della tecnologia (1 se il valore attribuito è 2)
Peggioramento_vita_3	Importanza attribuita agli effetti della tecnologia (1 se il valore attribuito è 3)
Peggioramento_vita_4	Importanza attribuita agli effetti della tecnologia (1 se il valore attribuito è 4)
Peggioramento_vita_5	Importanza attribuita agli effetti della tecnologia (1 se il valore attribuito è 5)
Stanchezza_mentale_1	Importanza attribuita agli effetti provocati dall'utilizzo di una nuova tecnologia (1 se il valore attribuito è 1)
Stanchezza_mentale_2	Importanza attribuita agli effetti provocati dall'utilizzo di una nuova tecnologia (1 se il valore attribuito è 2)
Stanchezza_mentale_3	Importanza attribuita agli effetti provocati dall'utilizzo di una nuova tecnologia (1 se il valore attribuito è 3)
Stanchezza_mentale_4	Importanza attribuita agli effetti provocati dall'utilizzo di una nuova tecnologia (1 se il valore attribuito è 4)
Stanchezza_mentale_5	Importanza attribuita agli effetti provocati dall'utilizzo di una nuova tecnologia (1 se il valore attribuito è 5)
sistema_operativo_1	Importanza attribuita all'acquisto di modelli tecnologicamente più avanzati (1 se il valore attribuito è 1)
sistema_operativo_2	Importanza attribuita all'acquisto di modelli tecnologicamente più avanzati (1 se il valore attribuito è 2)
sistema_operativo_3	Importanza attribuita all'acquisto di modelli tecnologicamente più avanzati (1 se il valore attribuito è 3)
sistema_operativo_4	Importanza attribuita all'acquisto di modelli tecnologicamente più avanzati (1 se il valore attribuito è 4)
sistema_operativo_5	Importanza attribuita all'acquisto di modelli tecnologicamente più avanzati (1 se il valore attribuito è 5)

	dispositivi_non_necessari_1	Importanza attribuita all'acquisto di dispositivi tecnologici non necessari (1 se il valore attribuito è 1)
	dispositivi_non_necessari_2	Importanza attribuita all'acquisto di dispositivi tecnologici non necessari (1 se il valore attribuito è 2)
	dispositivi_non_necessari_3	Importanza attribuita all'acquisto di dispositivi tecnologici non necessari (1 se il valore attribuito è 3)
	dispositivi_non_necessari_4	Importanza attribuita all'acquisto di dispositivi tecnologici non necessari (1 se il valore attribuito è 4)
	dispositivi_non_necessari_5	Importanza attribuita all'acquisto di dispositivi tecnologici non necessari (1 se il valore attribuito è 5)
	Investimento_tecnologie_1	Importanza attribuita alla necessità di investimenti in tecnologie da parte dello Stato (1 se il valore attribuito è 1)
	Investimento_tecnologie_2	Importanza attribuita alla necessità di investimenti in tecnologie da parte dello Stato (1 se il valore attribuito è 2)
	Investimento_tecnologie_3	Importanza attribuita alla necessità di investimenti in tecnologie da parte dello Stato (1 se il valore attribuito è 3)
	Investimento_tecnologie_4	Importanza attribuita alla necessità di investimenti in tecnologie da parte dello Stato (1 se il valore attribuito è 4)
	Investimento_tecnologie_5	Importanza attribuita alla necessità di investimenti in tecnologie da parte dello Stato (1 se il valore attribuito è 5)
	No_fiduca_tec_1	Importanza attribuita alla poca fiducia nella tecnologia (1 se il valore attribuito è 1)
	No_fiduca_tec_2	Importanza attribuita alla poca fiducia nella tecnologia (1 se il valore attribuito è 2)
	No_fiduca_tec_3	Importanza attribuita alla poca fiducia nella tecnologia (1 se il valore attribuito è 3)
	No_fiduca_tec_4	Importanza attribuita alla poca fiducia nella tecnologia (1 se il valore attribuito è 4)
	No_fiduca_tec_5	Importanza attribuita alla poca fiducia nella tecnologia (1 se il valore attribuito è 5)
Dimensione norme sociali	Social_network_1	Importanza attribuita all'influenza dei social network (1 se il valore attribuito è 1)
	Social_network_2	Importanza attribuita all'influenza dei social network (1 se il valore attribuito è 2)
	Social_network_3	Importanza attribuita all'influenza dei social network (1 se il valore attribuito è 3)
	Social_network_4	Importanza attribuita all'influenza dei social network (1 se il valore attribuito è 4)
	Social_network_5	Importanza attribuita all'influenza dei social network (1 se il valore attribuito è 5)
	Moda_trend_1	Importanza attribuita a mode e trend del momento (1 se il valore attribuito è 1)

	Moda_trend_2	Importanza attribuita a mode e trend del momento (1 se il valore attribuito è 2)
	Moda_trend_3	Importanza attribuita a mode e trend del momento (1 se il valore attribuito è 3)
	Moda_trend_4	Importanza attribuita a mode e trend del momento (1 se il valore attribuito è 4)
	Moda_trend_5	Importanza attribuita a mode e trend del momento (1 se il valore attribuito è 5)
	decisioni_autonomia_1	Importanza attribuita al prendere le decisioni in autonomia (1 se il valore attribuito è 1)
	decisioni_autonomia_2	Importanza attribuita al prendere le decisioni in autonomia (1 se il valore attribuito è 2)
	decisioni_autonomia_3	Importanza attribuita al prendere le decisioni in autonomia (1 se il valore attribuito è 3)
	decisioni_autonomia_4	Importanza attribuita al prendere le decisioni in autonomia (1 se il valore attribuito è 4)
	decisioni_autonomia_5	Importanza attribuita al prendere le decisioni in autonomia (1 se il valore attribuito è 5)
	no_consiglio_1	Importanza attribuita ai consigli altrui (1 se il valore attribuito è 1)
	no_consiglio_2	Importanza attribuita ai consigli altrui (1 se il valore attribuito è 2)
	no_consiglio_3	Importanza attribuita ai consigli altrui (1 se il valore attribuito è 3)
	no_consiglio_4	Importanza attribuita ai consigli altrui (1 se il valore attribuito è 4)
	no_consiglio_5	Importanza attribuita ai consigli altrui (1 se il valore attribuito è 5)
	No_opinione_1	Importanza attribuita all'interesse verso l'opinione altrui (1 se il valore attribuito è 1)
	No_opinione_2	Importanza attribuita all'interesse verso l'opinione altrui (1 se il valore attribuito è 2)
	No_opinione_3	Importanza attribuita all'interesse verso l'opinione altrui (1 se il valore attribuito è 3)
	No_opinione_4	Importanza attribuita all'interesse verso l'opinione altrui (1 se il valore attribuito è 4)
	No_opinione_5	Importanza attribuita all'interesse verso l'opinione altrui (1 se il valore attribuito è 5)
	centro_attenzione_1	Importanza attribuita all'acquisto di oggetti/vestiti per farsi notare (1 se il valore attribuito è 1)
	centro_attenzione_2	Importanza attribuita all'acquisto di oggetti/vestiti per farsi notare (1 se il valore attribuito è 2)
	centro_attenzione_3	Importanza attribuita all'acquisto di oggetti/vestiti per farsi notare (1 se il valore attribuito è 3)
	centro_attenzione_4	Importanza attribuita all'acquisto di oggetti/vestiti per farsi notare (1 se il valore attribuito è 4)
	entro_attenzione_5	Importanza attribuita all'acquisto di oggetti/vestiti per farsi notare (1 se il valore attribuito è 5)
Conoscenza delle auto ad	GPL_1	Importanza attribuita alla conoscenza dell'alimentazione GPL (1 se il valore attribuito è 1 = non ne ho mai sentito parlare)

alimentazione alternativa	GPL_3	Importanza attribuita alla conoscenza dell'alimentazione GPL (1 se il valore attribuito è 3= non conosco tutte le caratteristiche tecniche)
	GPL_5	Importanza attribuita alla conoscenza dell'alimentazione GPL (1 se il valore attribuito è 5=sono un perfetto conoscitore delle caratteristiche tecniche)
	Ibrida_1	Importanza attribuita alla conoscenza dell'alimentazione Ibrida (1 se il valore attribuito è 1 = non ne ho mai sentito parlare)
	Ibrida_3	Importanza attribuita alla conoscenza dell'alimentazione Ibrida (1 se il valore attribuito è 3= non conosco tutte le caratteristiche tecniche)
	Ibrida_5	Importanza attribuita alla conoscenza dell'alimentazione Ibrida (1 se il valore attribuito è 5=sono un perfetto conoscitore delle caratteristiche tecniche)
	Metano_1	Importanza attribuita alla conoscenza dell'alimentazione Metano (1 se il valore attribuito è 1 = non ne ho mai sentito parlare)
	Metano_3	Importanza attribuita alla conoscenza dell'alimentazione Metano (1 se il valore attribuito è 3= non conosco tutte le caratteristiche tecniche)
	Metano_5	Importanza attribuita alla conoscenza dell'alimentazione Metano (1 se il valore attribuito è 5=sono un perfetto conoscitore delle caratteristiche tecniche)
	Elettrica_1	Importanza attribuita alla conoscenza dell'alimentazione Elettrica (1 se il valore attribuito è 1 = non ne ho mai sentito parlare)
	Elettrica_3	Importanza attribuita alla conoscenza dell'alimentazione Elettrica (1 se il valore attribuito è 3= non conosco tutte le caratteristiche tecniche)
	Elettrica_5	Importanza attribuita alla conoscenza dell'alimentazione Elettrica (1 se il valore attribuito è 5=sono un perfetto conoscitore delle caratteristiche tecniche)
	Fattori importanti per l'acquisto di un veicolo	Acc_1
Acc_2		Importanza attribuita al fattore accelerazione nell'acquisto di una nuova auto (1 se il valore attribuito è 2= poco)
Acc_3		Importanza attribuita al fattore accelerazione nell'acquisto di una nuova auto (1 se il valore attribuito è 3= abbastanza)
Acc_4		Importanza attribuita al fattore accelerazione nell'acquisto di una nuova auto (1 se il valore attribuito è 4= molto)
Acc_5		Importanza attribuita al fattore accelerazione nell'acquisto di una nuova auto (1 se il valore attribuito è 5= moltissimo)

Brand_1	Importanza attribuita al fattore brand nell'acquisto di una nuova auto (1 se il valore attribuito è 1)
Brand_2	Importanza attribuita al fattore brand nell'acquisto di una nuova auto (1 se il valore attribuito è 2)
Brand_3	Importanza attribuita al fattore brand nell'acquisto di una nuova auto (1 se il valore attribuito è 3)
Brand_4	Importanza attribuita al fattore brand nell'acquisto di una nuova auto (1 se il valore attribuito è 4)
Brand_5	Importanza attribuita al fattore brand nell'acquisto di una nuova auto (1 se il valore attribuito è 5)
Consumi_1	Importanza attribuita al fattore consumi nell'acquisto di una nuova auto (1 se il valore attribuito è 1)
Consumi_2	Importanza attribuita al fattore consumi nell'acquisto di una nuova auto (1 se il valore attribuito è 2)
Consumi_3	Importanza attribuita al fattore consumi nell'acquisto di una nuova auto (1 se il valore attribuito è 3)
Consumi_4	Importanza attribuita al fattore consumi nell'acquisto di una nuova auto (1 se il valore attribuito è 4)
Consumi_5	Importanza attribuita al fattore consumi nell'acquisto di una nuova auto (1 se il valore attribuito è 5)
Emis_inq_1	Importanza attribuita al fattore emissioni inquinanti nell'acquisto di una nuova auto (1 se il valore attribuito è 1)
Emis_inq_2	Importanza attribuita al fattore emissioni inquinanti nell'acquisto di una nuova auto (1 se il valore attribuito è 2)
Emis_inq_3	Importanza attribuita al fattore emissioni inquinanti nell'acquisto di una nuova auto (1 se il valore attribuito è 3)
Emis_inq_4	Importanza attribuita al fattore emissioni inquinanti nell'acquisto di una nuova auto (1 se il valore attribuito è 4)
Emis_inq_5	Importanza attribuita al fattore emissioni inquinanti nell'acquisto di una nuova auto (1 se il valore attribuito è 5)
Vel_max_1	Importanza attribuita al fattore velocità massima nell'acquisto di una nuova auto (1 se il valore attribuito è 1)
Vel_max_2	Importanza attribuita al fattore velocità massima nell'acquisto di una nuova auto (1 se il valore attribuito è 2)
Vel_max_3	Importanza attribuita al fattore velocità massima nell'acquisto di una nuova auto (1 se il valore attribuito è 3)
Vel_max_4	Importanza attribuita al fattore velocità massima nell'acquisto di una nuova auto (1 se il valore attribuito è 4)

	Vel_max_5	Importanza attribuita al fattore velocità massima nell'acquisto di una nuova auto (1 se il valore attribuito è 5)
Specifiche dell'alternativa (al variare dell'insieme di scelta si riporterà di volta in volta l'associazione con le alternative coinvolte)	ASC_1	Attributo specifico dell'alternativa Benzina
	ASC_2	Attributo specifico dell'alternativa Diesel
	ASC_3	Attributo specifico dell'alternativa GPL
	ASC_4	Attributo specifico dell'alternativa Metano
	ASC_5	Attributo specifico dell'alternativa Ibrida
	ASC_6	Attributo specifico dell'alternativa Elettrica