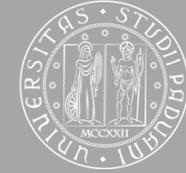


Ambasciatori di sostenibilità. Conoscere, promuovere, praticare la sostenibilità
A.A. 2023/2024



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI PADOVA

La nuova mobilità

Come valutare la propensione degli utenti verso nuove forme di mobilità utilizzando la realtà virtuale, esperienze dirette in laboratorio

Riccardo Rossi

Massimiliano Gastaldi

Riccardo Ceccato



DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA
CIVILE, EDILE E AMBIENTALE
DEPARTMENT OF CIVIL, ENVIRONMENTAL
AND ARCHITECTURAL ENGINEERING

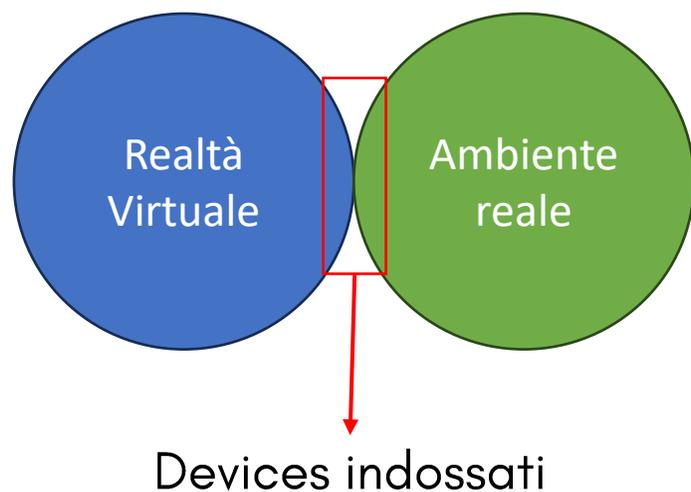


Realtà virtuale: definizioni

Verma, J. K., & Paul, S. (Eds.). (2022). Advances in Augmented Reality and Virtual Reality. Springer.

Realtà Virtuale (Virtual Reality - VR)

Tecnologia che prevede la creazione di **ambienti totalmente virtuali** creati al computer dove il soggetto può **immersersi** completamente e con cui può **interagire**.

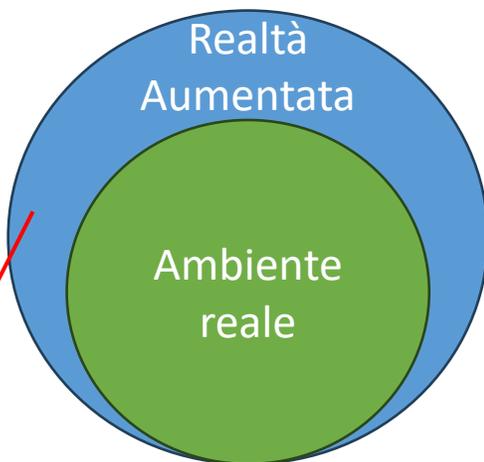


Realtà virtuale: definizioni

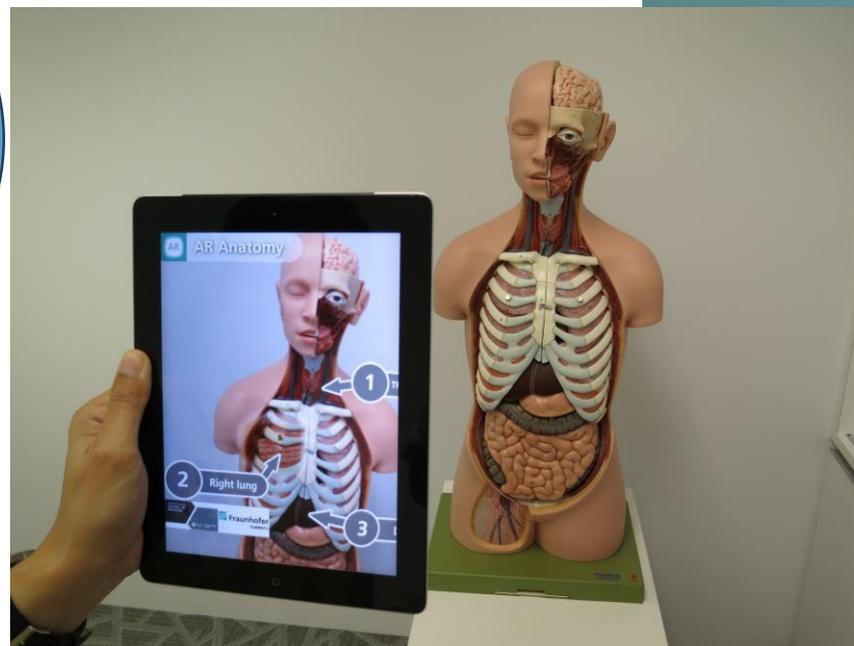
Verma, J. K., & Paul, S. (Eds.). (2022). *Advances in Augmented Reality and Virtual Reality*. Springer.

Realtà Aumentata (Augmented Reality – AR)

Tecnologia che permette di **sovrapporre** elementi virtuali **all'ambiente reale** visualizzato dal soggetto.



Completa (aumenta) le informazioni nell'ambiente reale



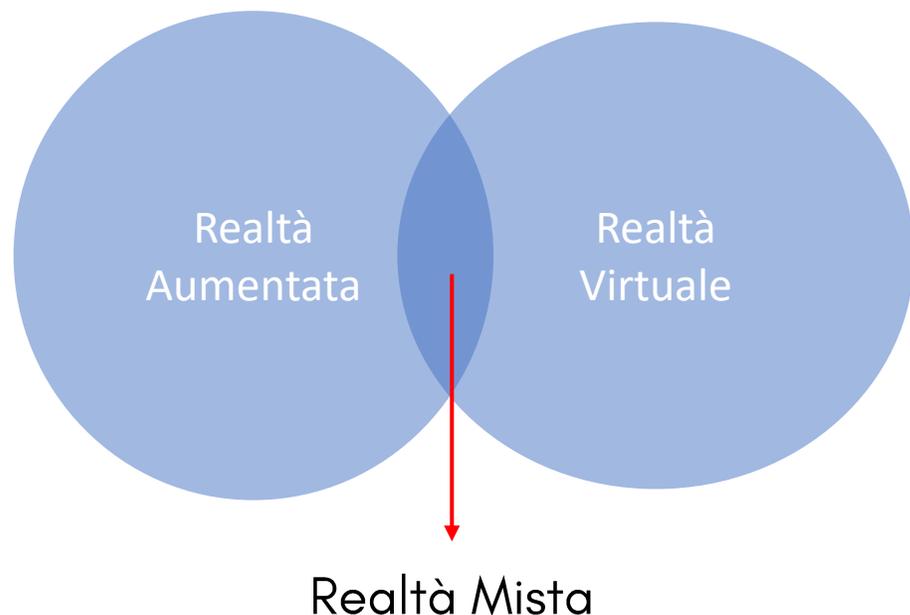
Source: ikea.com

Realtà virtuale: definizioni

Verma, J. K., & Paul, S. (Eds.). (2022). Advances in Augmented Reality and Virtual Reality. Springer.

Realtà Mista (Mixed/Merged Reality - MR)

Tecnologia che permette di **combinare** ambiente reale con ambiente virtuale, dove oggetti fisici e digitali **co-esistono** e con cui è possibile **interagire** in tempo reale.

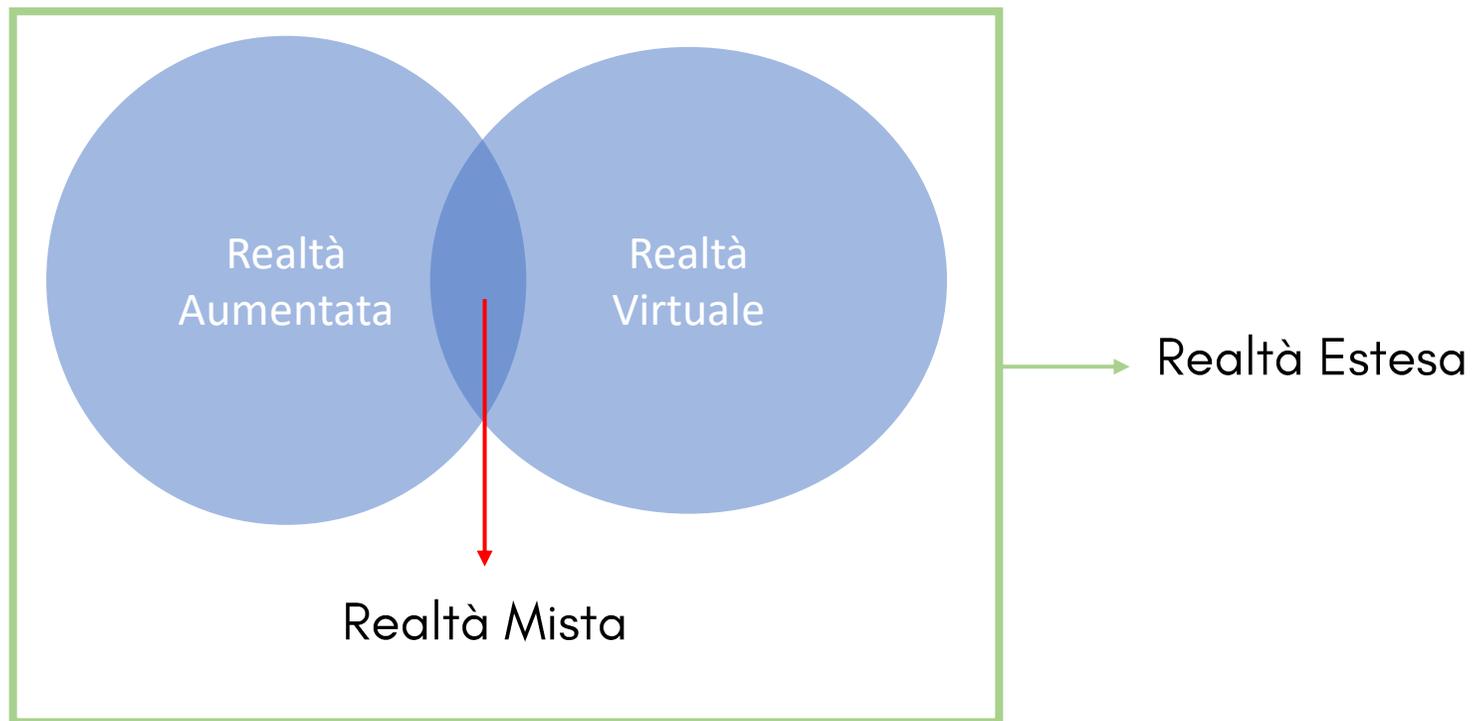


Realtà virtuale: definizioni

Verma, J. K., & Paul, S. (Eds.). (2022). Advances in Augmented Reality and Virtual Reality. Springer.

Realtà Estesa (Extended Reality - XR)

Termine che considera tutte le tecnologie virtuali (Realtà Virtuali, Realtà Aumentata, Realtà Mista).



Realtà virtuale: dispositivi hardware

Head Mounted Display (HMD)

- Schermo e speciali lenti per proiettare immagini 3D sulla retina del soggetto
- Sensori di movimento per registrare i movimenti del soggetto (rotazione testa e traslazione del corpo)
- Controller per l'interazione con l'ambiente virtuale
- Cuffie per la trasmissione dell'audio



Realtà virtuale: dispositivi hardware

Pedane Omnidirezionali (Treadmill)

- Pedana di forma concava con cintura a cui il soggetto è assicurato
- Eventuale presenza di sedia
- Consente di trasferire alla Realtà Virtuale il movimento fisico del soggetto



Simulatori di movimento (Motion simulator)

- Per la simulazione dei movimenti del mezzo che si guida in Realtà Virtuale

Realtà virtuale: parte software



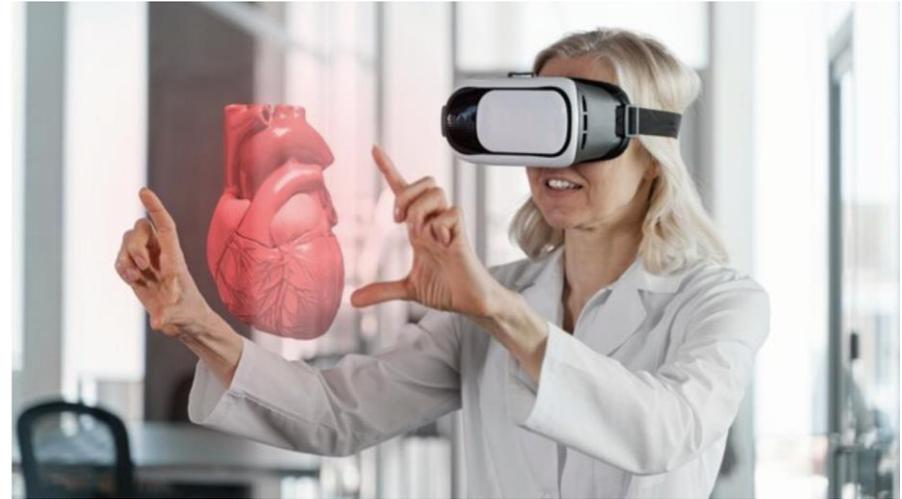
Software per la creazione degli ambienti virtuali

- Creazione degli ambienti 3D
- Gestione del funzionamento degli ambienti
- Gestione dell'interazione soggetto-ambiente



Realtà virtuale: campi di applicazione

- Gaming
- Medicina: simulazione di interventi chirurgici (per training o pianificazione), trattamenti di disturbi mentali
- Educazione: conoscenze pratico-procedurali, descrittive



- Economia: studio di comportamenti di acquisto
- Sicurezza: simulazione di evacuazioni
- Ingegneria e robotica: controllo a distanza
- Architettura e urban design: comprensione del progetto architettonico

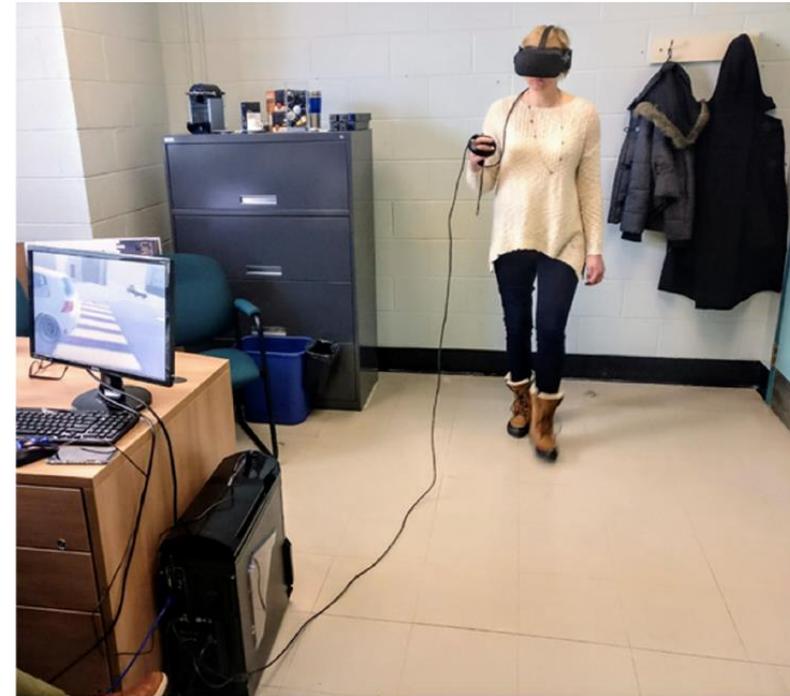
Esempi di studi su propensioni

Farooq et al. (2018) *Virtual Immersive Reality for Stated Preference Travel Behavior Experiments: A Case Study of Autonomous Vehicles on Urban Roads*

- Propensione verso veicoli autonomi (AV)
- Comportamento dei pedoni in presenza di AV



(a)

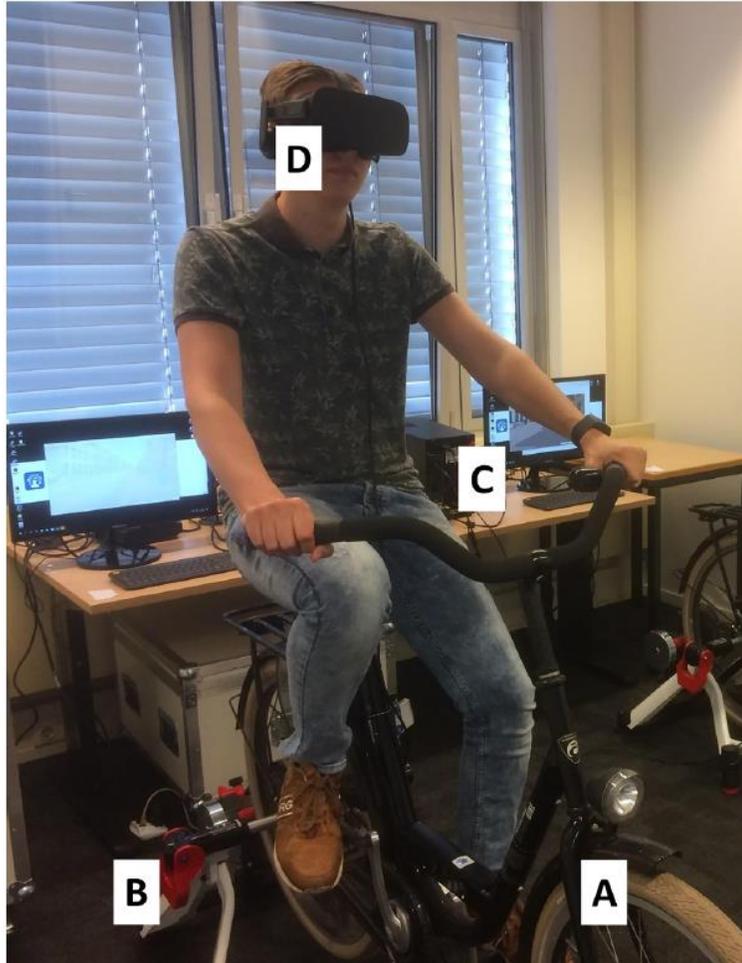


Realtà virtuale e studio della mobilità

Esempi di studi su propensioni

Birenboim et al. (2019) *The utilization of immersive virtual environments for the investigation of environmental preferences*

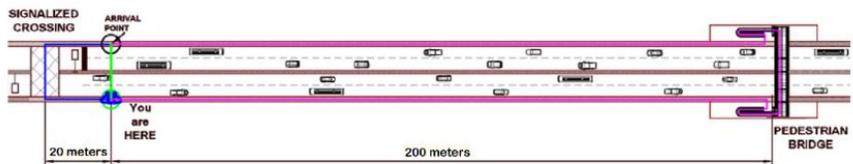
- Preferenze nell'ambito della mobilità ciclistica
- Scelta tra 4 percorsi ciclabili



Esempi di studi su propensioni

Arellana et al. (2019) *On the use of virtual immersive reality for discrete choice experiments to modelling pedestrian behaviour*

- Preferenze tra tipi di attraversamento pedonali ed uscite da edificio
- Valutazione delle differenze rispetto ad indagini (tradizionali) su carta

Choice Context	Traditional Only Text Survey		
Crossing an urban street	11. Choice Decision: <input type="checkbox"/> Pedestrian Bridge <input type="checkbox"/> Direct Crossing <input type="checkbox"/> Signalized Crossing		
	Choice Situation	1	Block
		1	Time of the day
		Day	
	SIGNALIZED CROSSING	PEDESTRIAN BRIDGE	DIRECT CROSSING
Number of Pedestrian	CROWDED 	AVERAGE 	EMPTY 
Traffic Flow Level [Volume/Capacity ratio]	HIGH		
			



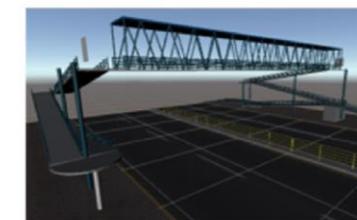
1. Signalized Crossing



2. Direct Crossing



3. Footbridge



VR e propensioni verso nuove soluzioni di mobilità

Realtà virtuale e studio della mobilità

Esempi di studi su propensioni

Agudelo-Vèlez et al. (2019) *Virtual Reality as a new tool for transport data collection*



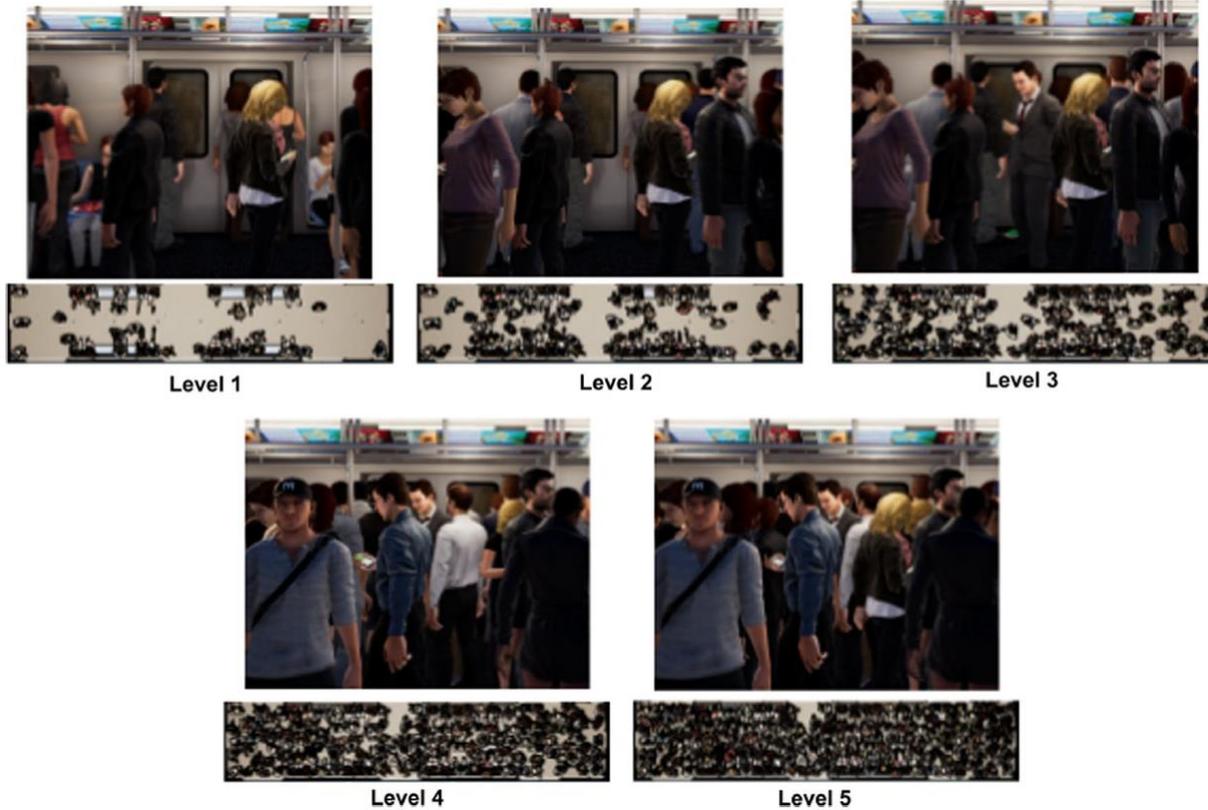
- Propensione verso soluzioni di mobilità esistenti
- Focus su sicurezza percepita



Esempi di studi su propensioni

Sadeghi et al. (2023) *Affective experience in a virtual crowd regulates perceived travel time*

Sadeghi et al. (2023) *Crowding and Perceived Travel Time in Public Transit: Virtual Reality Compared With Stated Choice Surveys*

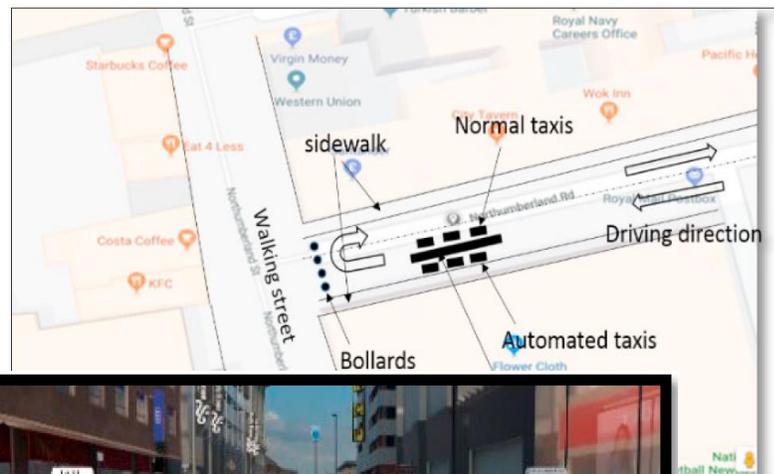


- Preferenza tra viaggi su mezzo pubblico con diversi livelli di affollamento
- Studio sulla percezione del tempo di viaggio

Esempi di studi su propensioni

Yin and Cherchi (2024) *Conducting Stated Choice Experiments within an Immersive Virtual Reality Environment: an Application to the Discrete Choice of Automated versus Normal Taxi*

- Propensione verso l'uso di taxi a guida autonoma



Indagini tradizionali

Principali tipologie

- Preferenze Rivelate (RP – **Revealed-Preferences**): osservazione di scelte e decisioni compiute dal soggetto nella **realtà**
- Preferenze Dichiarate (SP – **Stated-Preferences**): basate su scenari/alternative **ipotetiche**



Indagini tradizionali

Modalità di somministrazione tradizionali

- Indagini face-to-face (**CAPI** – Computer Assisted Personal Interview): dati rilevati da intervistatore durante incontro reale con il soggetto



- Indagini telefoniche (**CATI** – Computer Assisted Telephone Interview): dati rilevati durante contatto telefonico tra intervistatore e soggetto

Indagini tradizionali



Modalità di somministrazione tradizionali

- Indagini online (**CAWI** – Computer Assisted Web Interviewing): dati automaticamente raccolti tramite questionario online compilato dal soggetto in autonomia



- Indagini online (**CAMI** – Computer Assisted Mobile Interviewing): dati automaticamente raccolti mediante interazione su dispositivi smartphone

Indagini tradizionali

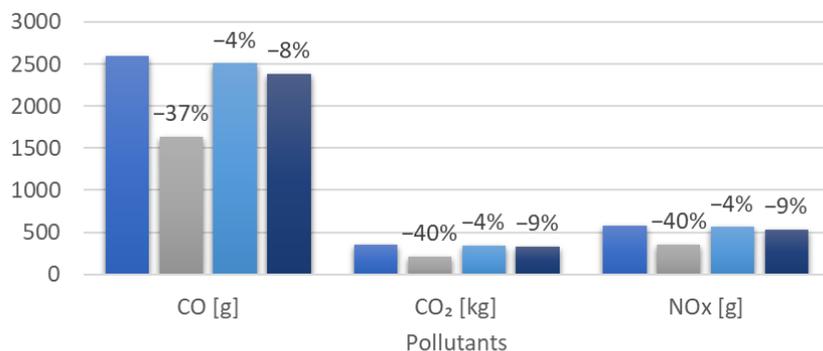


Esempi applicativi in Padova

Baldassa et al. (2023) *Telework and MaaS adoption in a post-pandemic scenario. Evidence from municipal employees of Padua, Italy*

Ceccato et al. (2023) *MaaS Adoption and Sustainability for Systematic Trips: Estimation of Environmental Impacts in a Medium-Sized City*

- Indagine CAWI RP/SP a dipendenti del Comune di Padova
- Propensione verso il Mobility-as-a-Service (MaaS) → stima della domanda potenziale del servizio
- Preferenza verso diversi pacchetti MaaS → progettazione del servizio
- Stima degli impatti ambientali del MaaS sugli spostamenti casa-lavori



■ Base scenario ■ Scenario 1 ■ Scenario 2 ■ Scenario 3

A.A. 2023/24 - La nuova mobilità

	Scenario 1	Scenario 2	Scenario 3
E-scooter sharing	X		
Bike sharing	X		
Park-and-ride	X	X	X
Car sharing	X		X
Car sharing—5 h		X	
Suburban bus/train	X		
Urban bus/tram	X	X	X
Night bus		X	

Scenario	Share of MaaS Trips (%)	Share of Non-MaaS Trips (%)
Scenario 1	87	13
Scenario 2	4	96
Scenario 3	12	88

Realtà virtuale VS indagini tradizionali

Principali aspetti positivi dell'uso della VR per lo studio della mobilità

- Elevato livello di realismo ed immersione
- Diretta esperienza di soluzioni di mobilità anche non vissute
- Percezione esperienziale dello spazio e del tempo
- Possibilità di monitorare reazioni fisico-biologiche



- Miglior comprensione degli scenari e delle alternative di scelta
- Risposte dei soggetti più coerenti ed affidabili

Realtà virtuale VS indagini tradizionali

Principali aspetti da attenzionare



- Difficoltà nell'ottenere campioni di soggetti numerosi (tempi di esecuzione delle esperienze)
- Disagi per l'uso dell'HMD
- Ambiente virtuale «sicuro» per natura
- Influenza del livello di familiarità con ambiente simulato
- Difficoltà nel controllare i fattori che influenzano le scelte

Progettazione degli esperimenti

Definizioni: esercizio di scelta

Alternativa: opzione di scelta

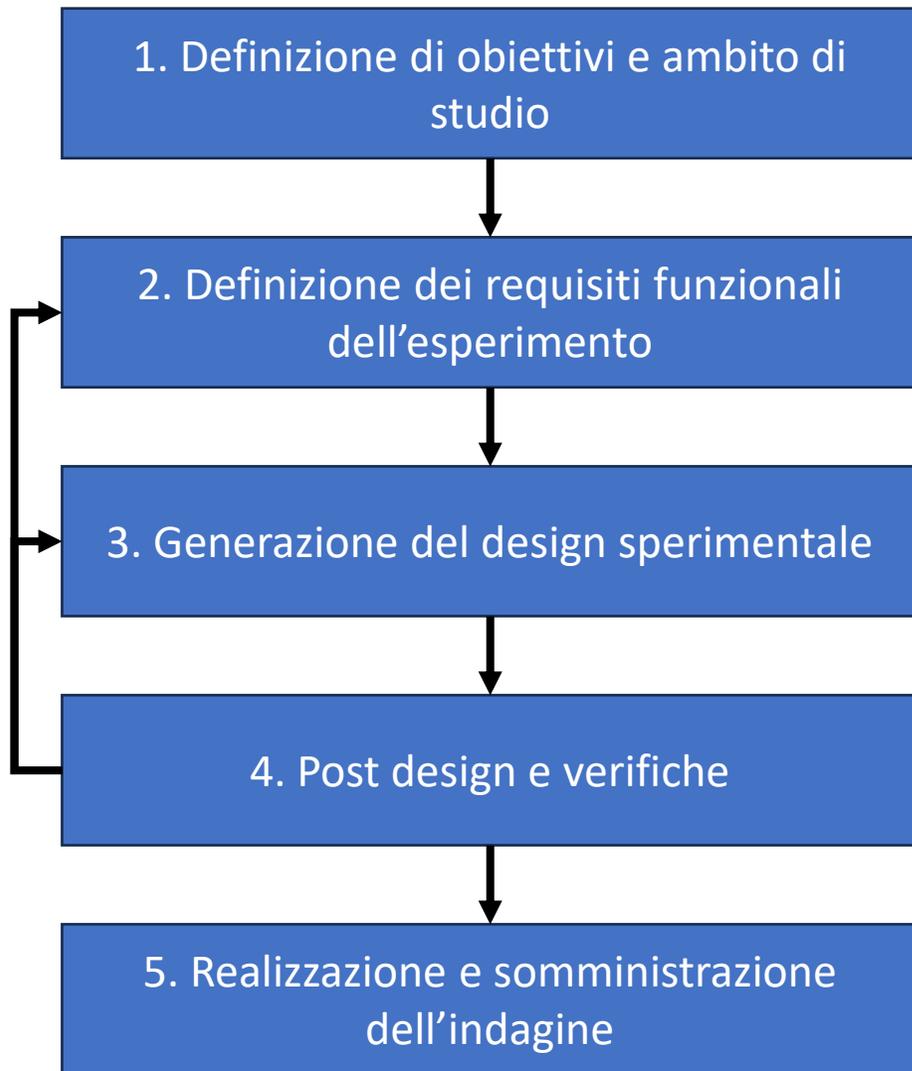
	 Auto	 Autobus
Tempo di viaggio	5 min	10 min
Costo	5 €	2.5 €
Scelta	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

Livello: valore che un attributo può assumere

Attributo: caratteristica dell'alternativa

Progettazione degli esperimenti di scelta

Fasi

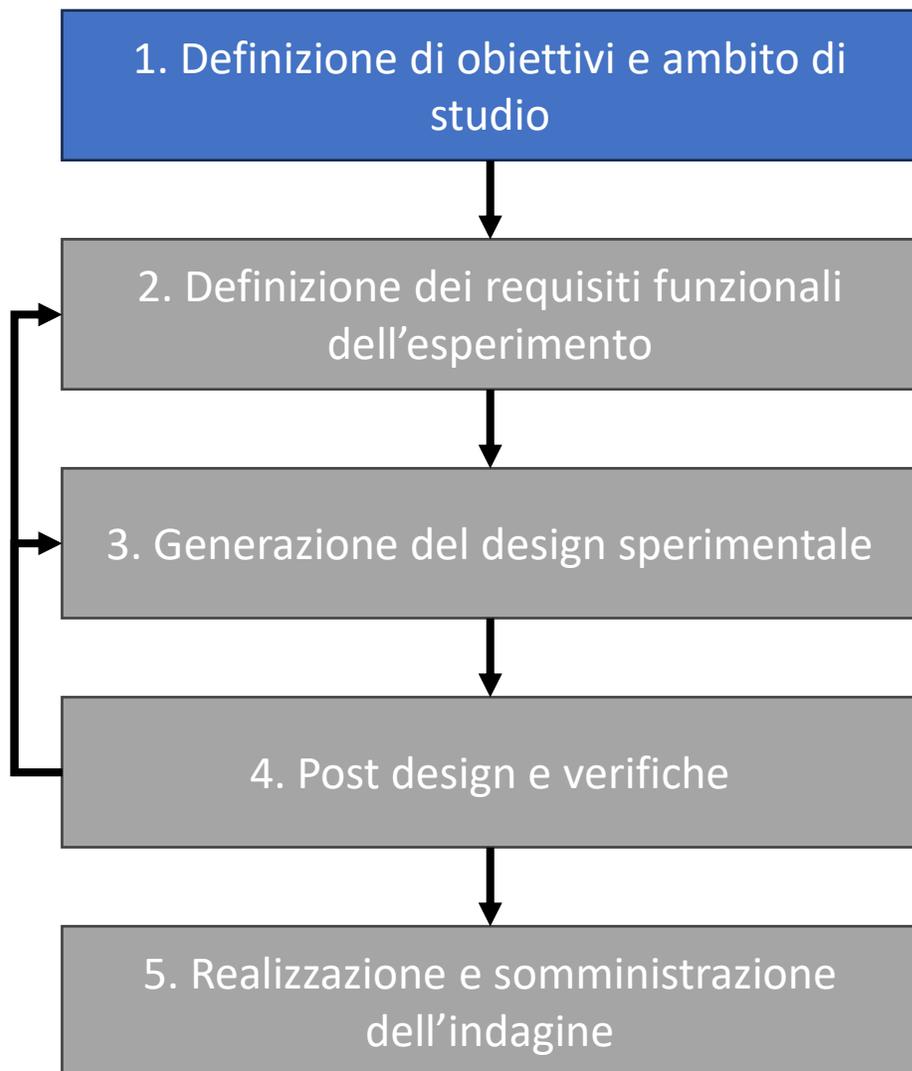


de Dios Ortúzar and Willumsen
(2011) *Modelling transport*



Progettazione degli esperimenti di scelta

Fasi



de Dios Ortúzar and Willumsen
(2011) *Modelling transport*

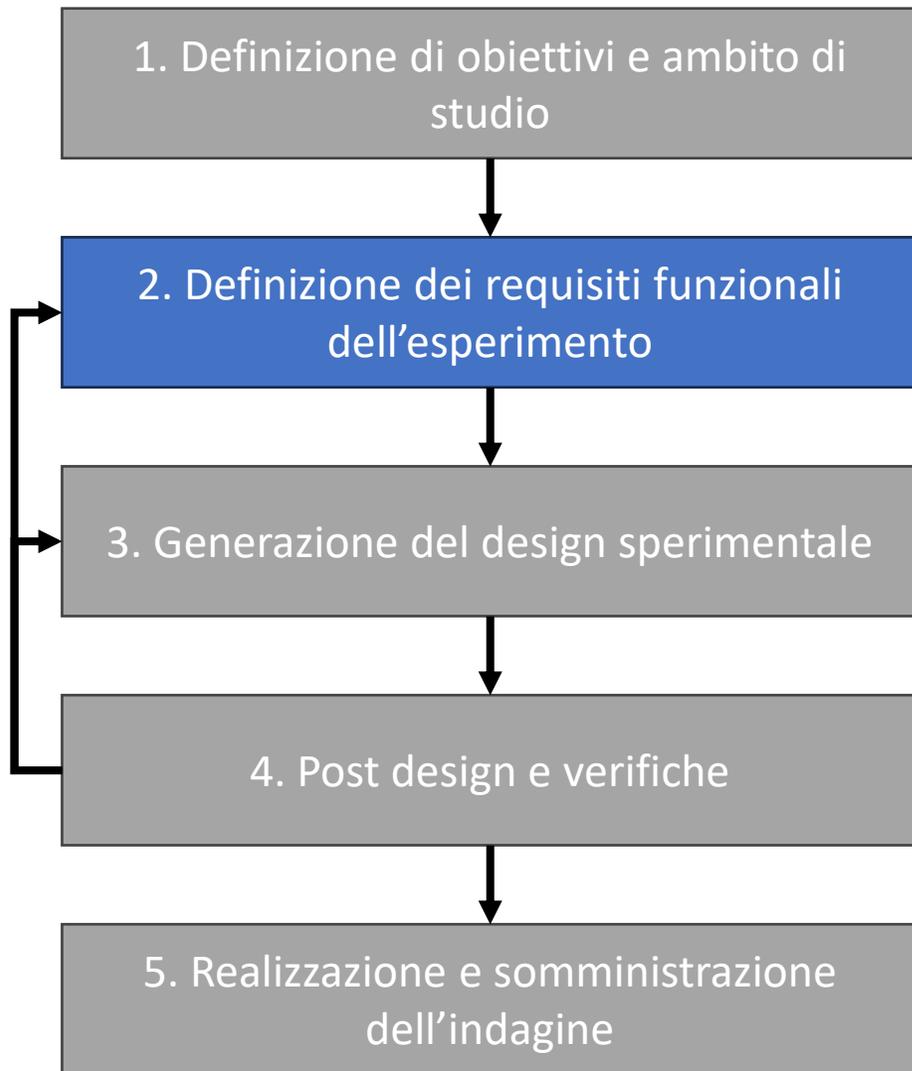
- Obiettivo degli esperimenti di scelta
- Analisi del contesto di studio
- Identificazione della popolazione oggetto di indagine



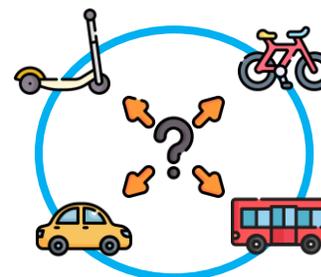
Progettazione degli esperimenti di scelta

Fasi

de Dios Ortúzar and Willumsen
(2011) *Modelling transport*



- Esperimento labelled/unlabelled:
 - Labelled → l'etichetta dell'alternativa fornisce informazioni sull'alternativa



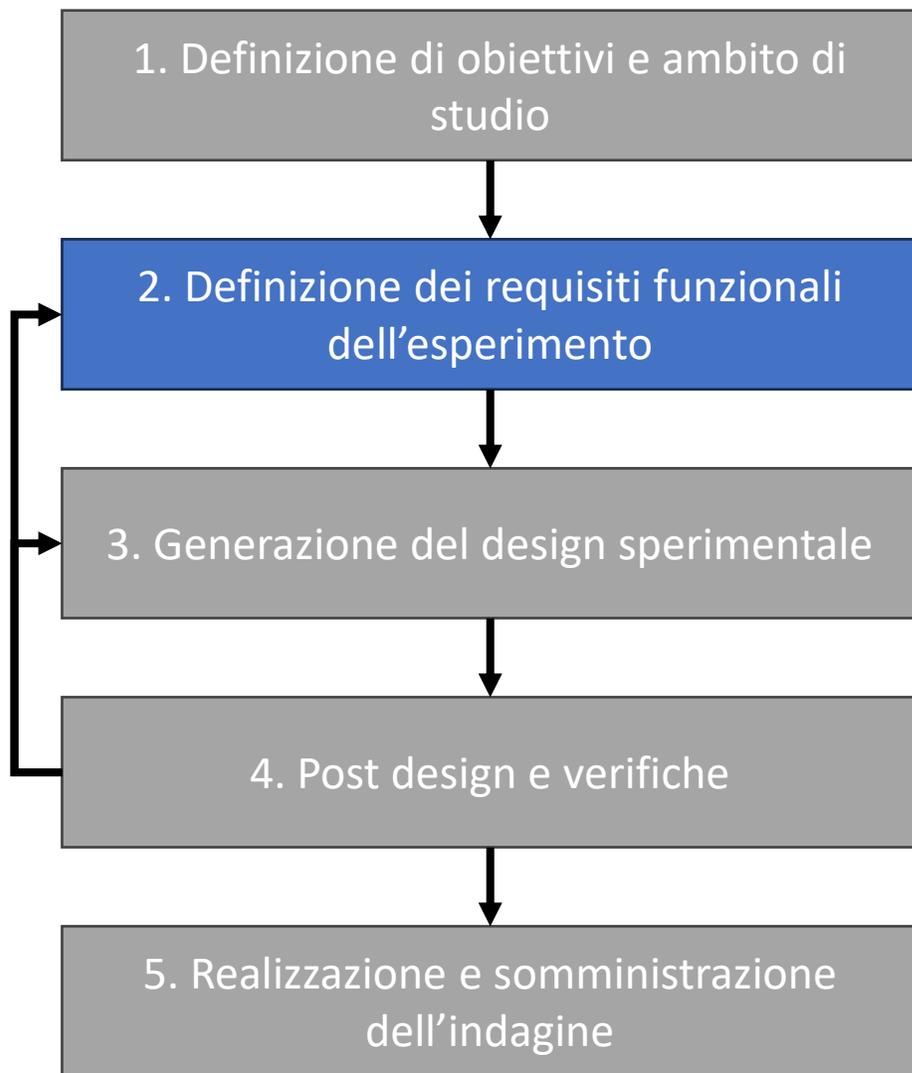
- Unlabelled → le etichette non identificano le alternative (left-to-right bias)



Progettazione degli esperimenti di scelta

Fasi

de Dios Ortúzar and Willumsen
(2011) *Modelling transport*



- Definizione delle alternative di scelta:
 - Almeno 2 alternative (inclusa status quo o «nessuna scelta»)
 - ↑ alternative ↑ informazioni ↑ carico cognitivo

Unlabelled experiment

2-3 alternative

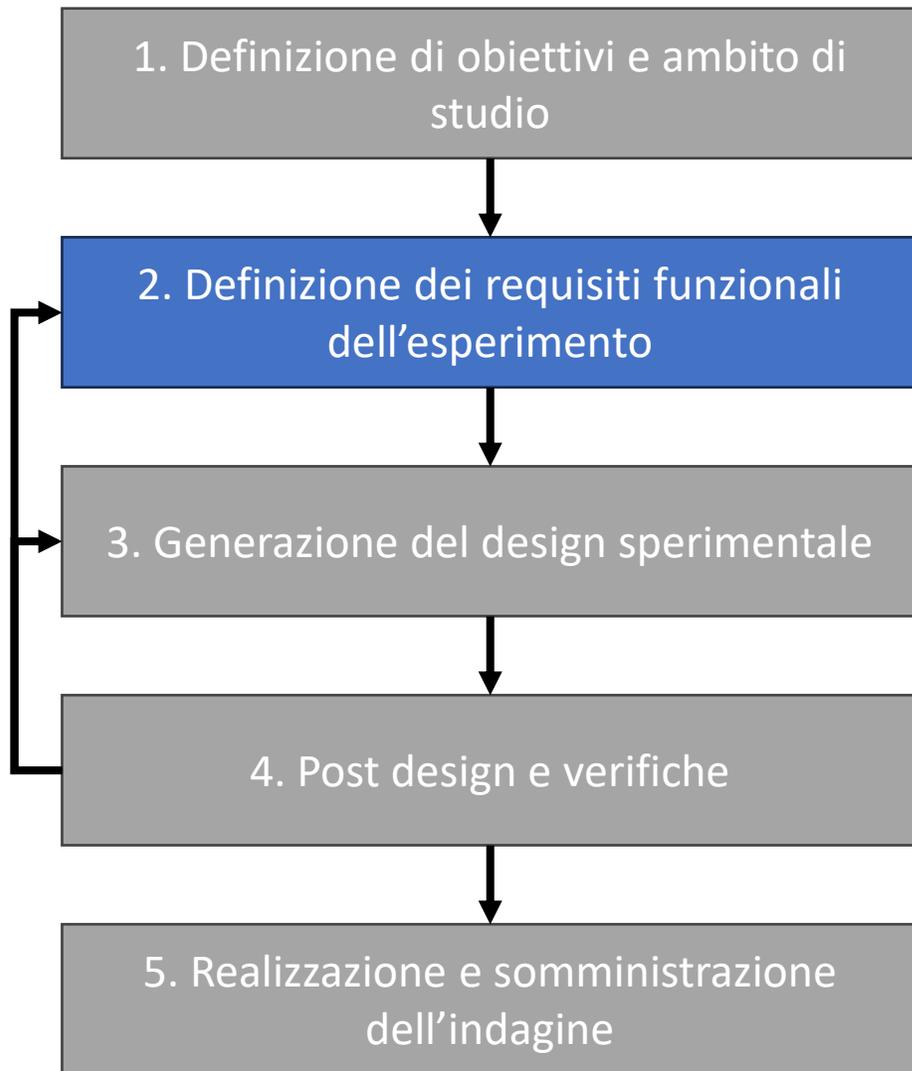
Labelled experiment

Numero di etichette

- Numero elevato → partial choice set
- Alternativa dominante → da duplicare

Progettazione degli esperimenti di scelta

Fasi



de Dios Ortúzar and Willumsen
(2011) *Modelling transport*

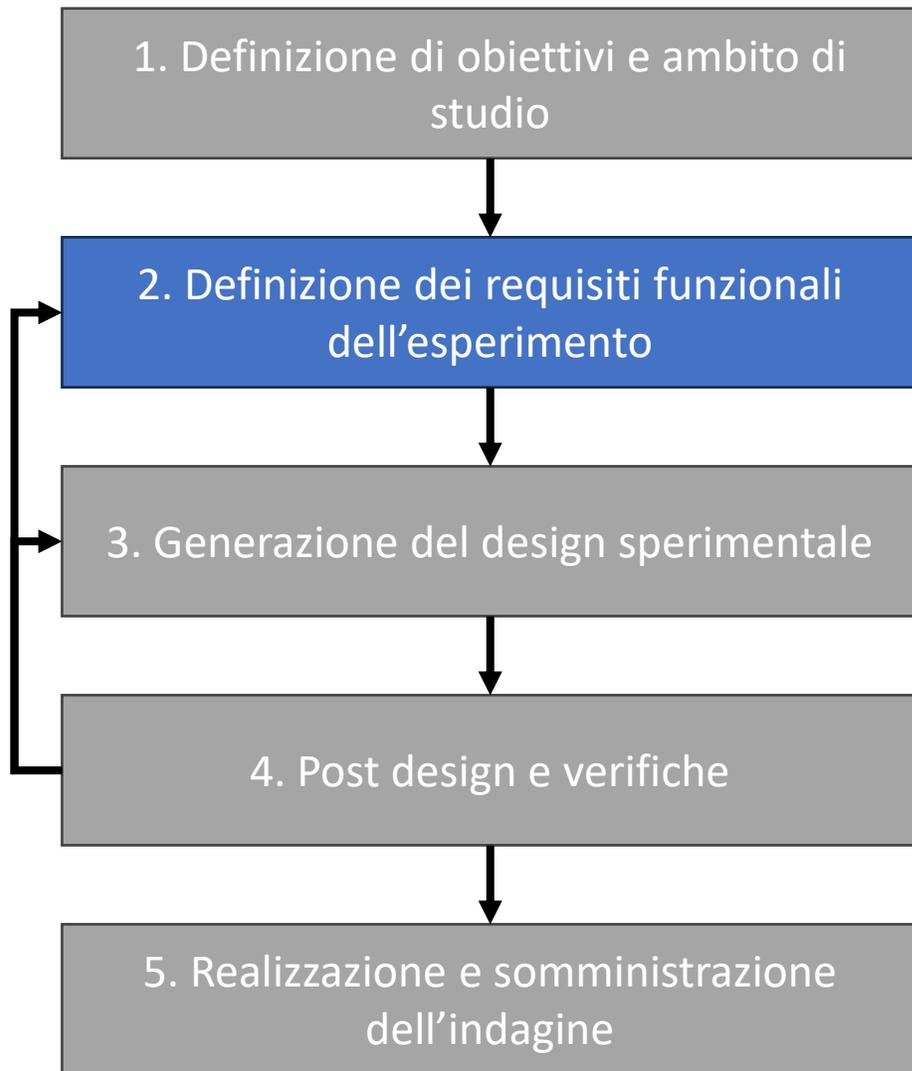
- Definizione degli attributi

Tipo di dato	Scala di misura	Esempi
Qualitativo/categorico	Nominale	Colore (rosso, blu, verde) Affermazione (Sì, No)
	Ordinale	Comfort (basso, medio, alto) Livello di educazione (diploma, laurea, dottorato)
Quantitativo/numerico	Intervallo	Ora del giorno (8:00, 12:00, 18:00) Quota (100 m, 500 m, 1500 m)
	Rapporto	Costo (5€, 10€, 15€) Durata (15 min, 20 min, 25 min)

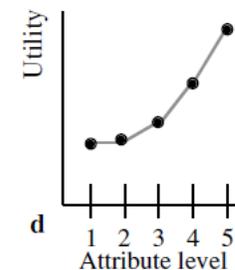
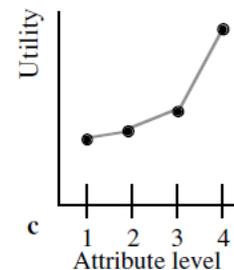
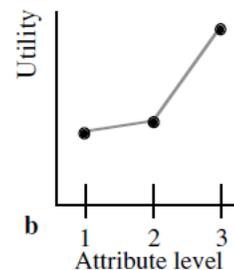
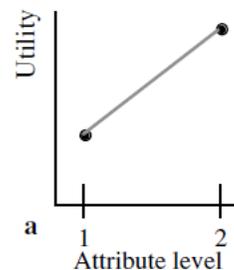
Progettazione degli esperimenti di scelta

Fasi

de Dios Ortúzar and Willumsen
(2011) *Modelling transport*



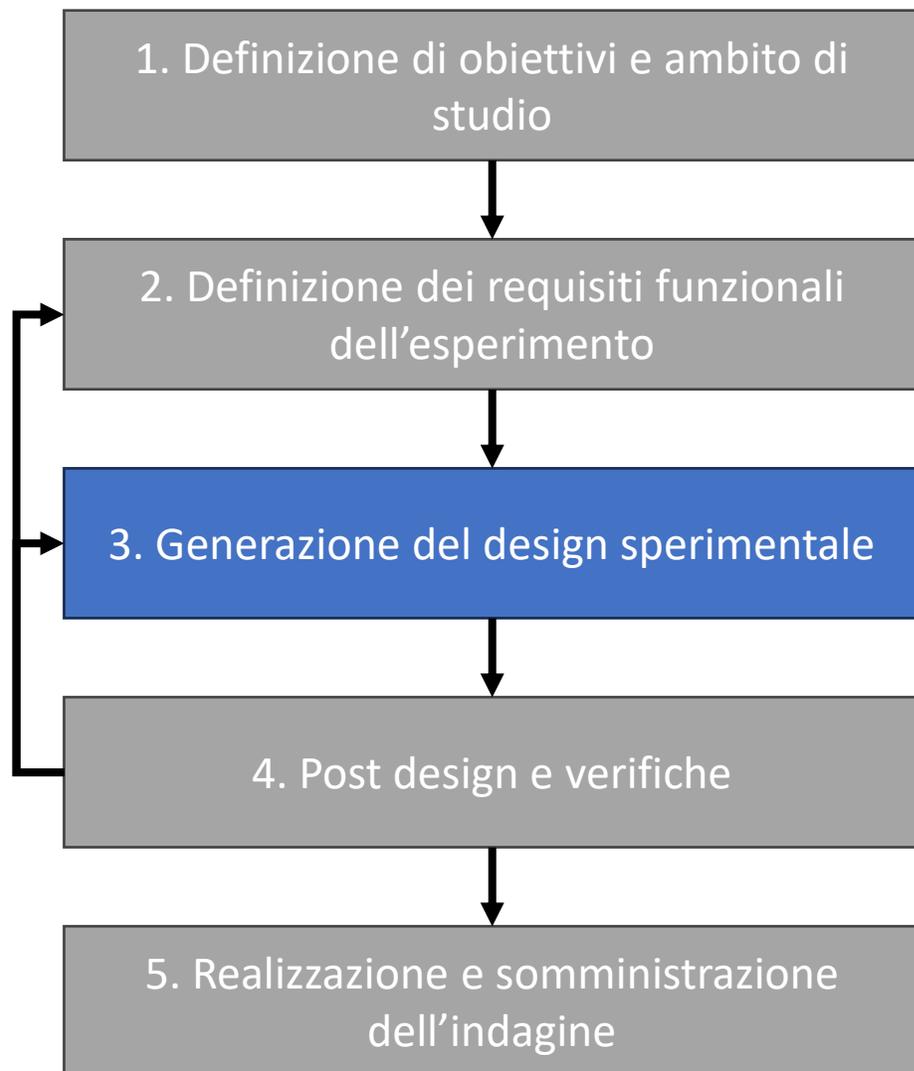
- Livelli per ciascun attributo
 - Identificazione del range min-max
 - Numero di livelli



Progettazione degli esperimenti di scelta

Fasi

de Dios Ortúzar and Willumsen
(2011) *Modelling transport*



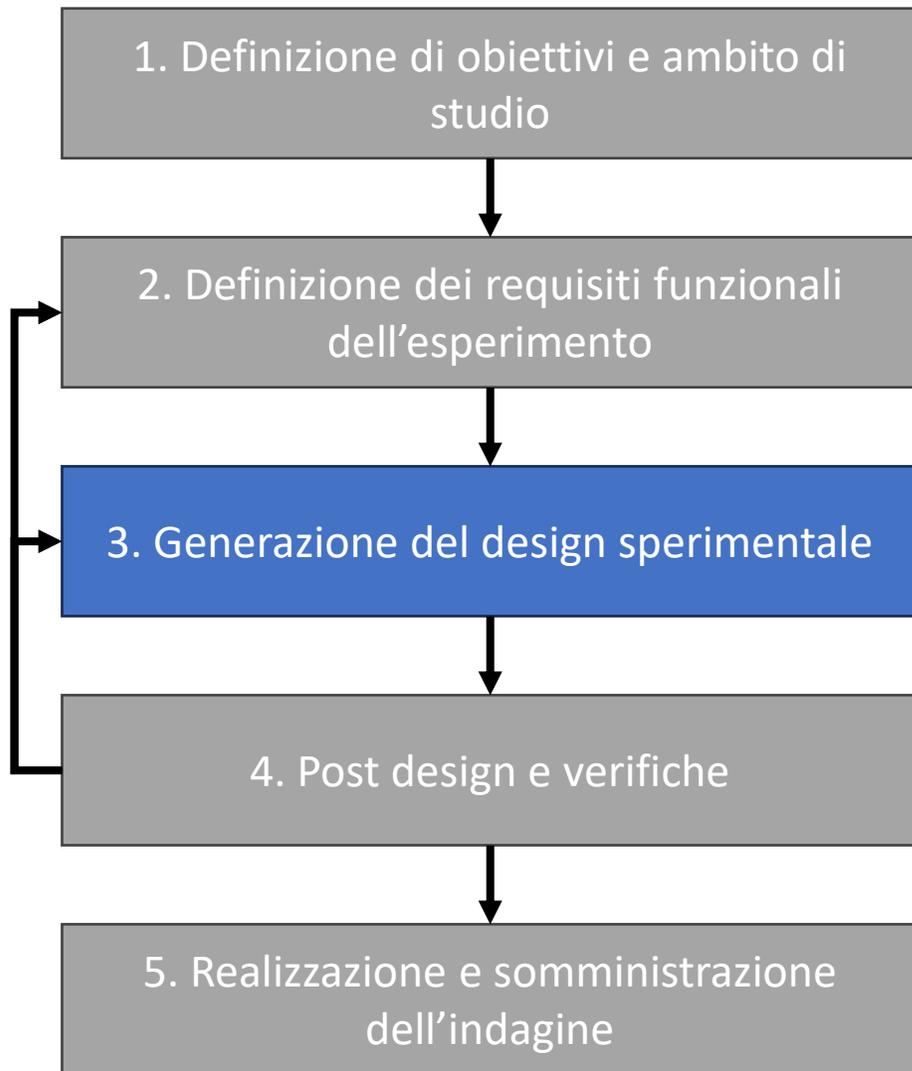
- Scelta del metodo per generare gli esercizi di scelta (combinazioni di alternative- attributi-livelli):
 - Full factorial design
 - Fractional factorial design (orthogonal, optimal, efficient)

Treatment combination	Comfort	Travel time h(hours)
1	Low	10
2	Low	12
3	Low	14
4	Medium	10
5	Medium	12
6	Medium	14
7	High	10
8	High	12
9	High	14

Progettazione degli esperimenti di scelta

Fasi

de Dios Ortúzar and Willumsen
(2011) *Modelling transport*



- Numero e combinazione degli esercizi di scelta (blocking)

$$S_{tot} \geq \frac{K}{J-1}$$

S_{tot} = numero di esercizi di scelta

K = numero di attributi (variabili da stimare)

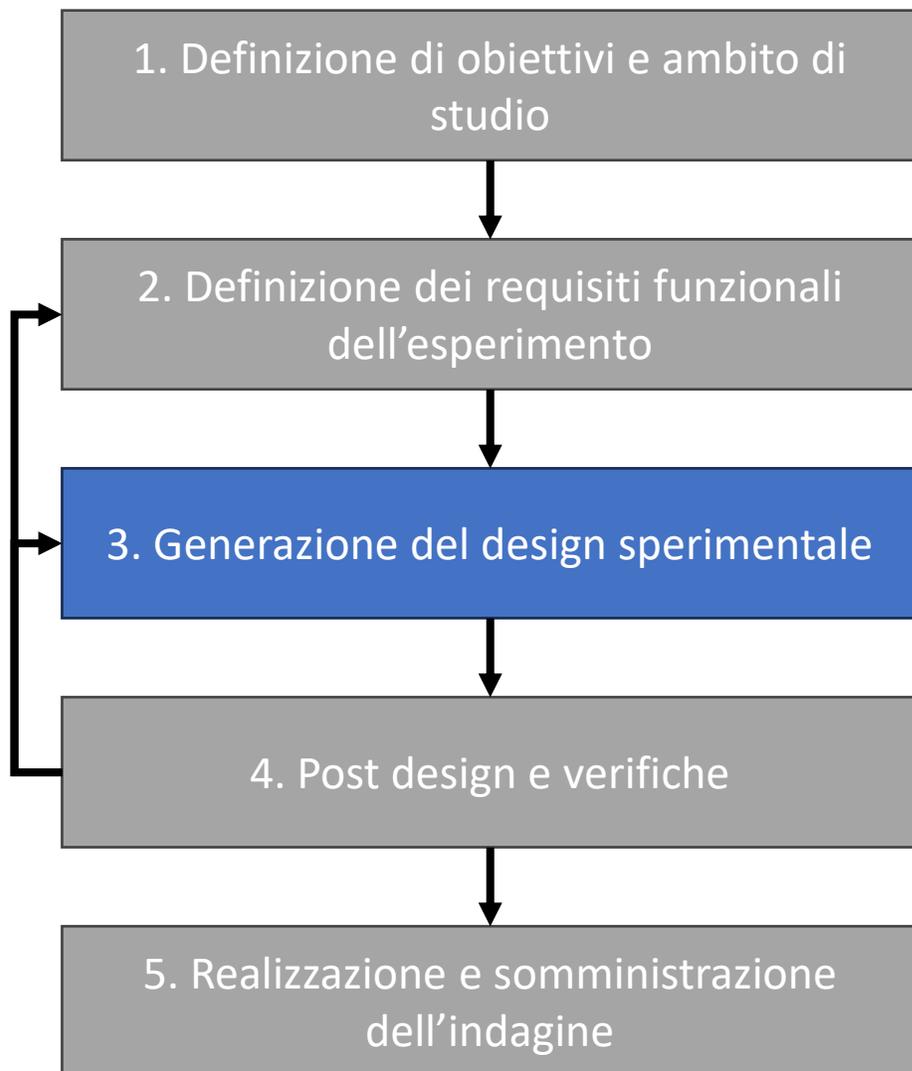
J = numero di alternative



Progettazione degli esperimenti di scelta

Fasi

de Dios Ortúzar and Willumsen
(2011) *Modelling transport*



- Numero minimo di soggetti (N)

$$\Pr(|\hat{p} - p| \leq ap) \geq \beta$$

$$N \geq \frac{q}{Spa^2} \left[\Phi^{-2} \left(1 - \frac{\alpha}{2} \right) \right]^2$$

p = proporzione reale di scelta dell'alternativa ($q = 1 - p$)

\hat{p} = proporzione stimata di scelta dell'alternativa

β = livello di confidenza della stima ($\beta = 1 - \alpha$)

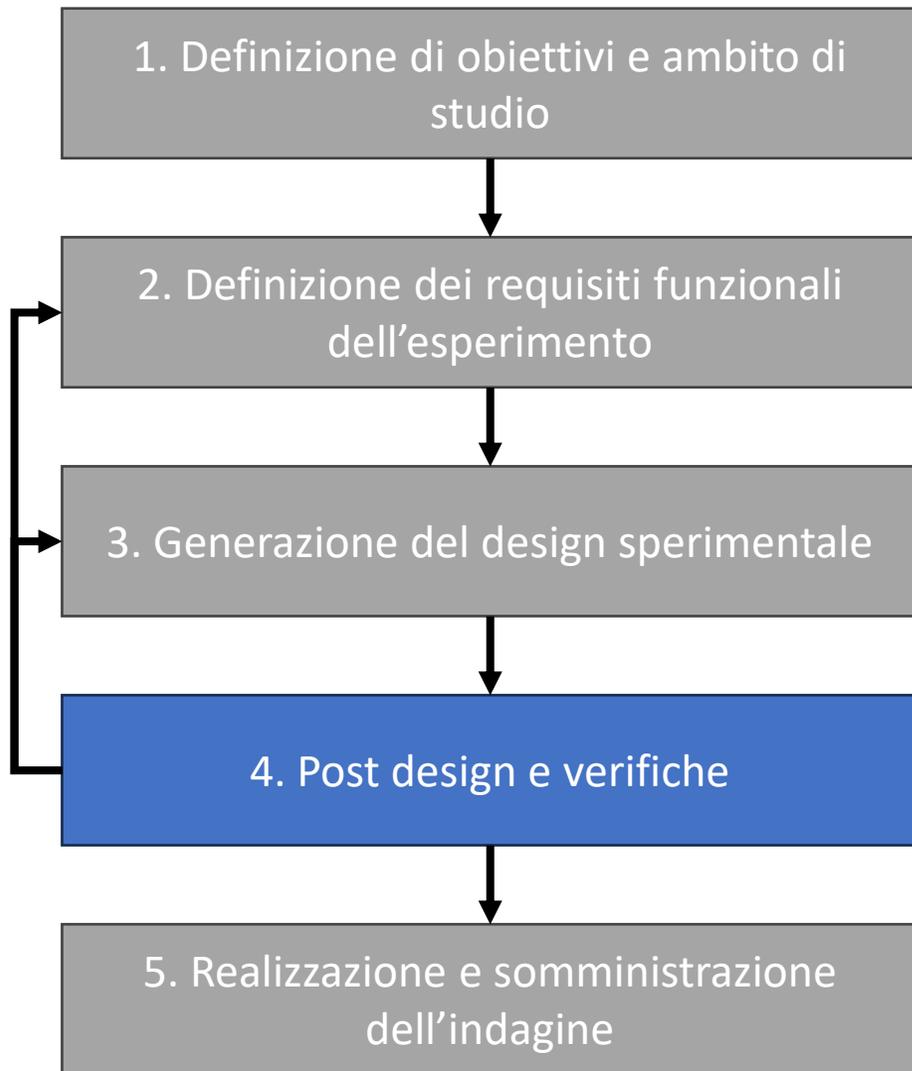
a = accuratezza (deviazione percentuale rispetto a p)

S = numero di esercizi di scelta per rispondente

$\Phi^{-2} \left(1 - \frac{\alpha}{2} \right)$ = distribuzione cumulativa inversa di una normale standard

Progettazione degli esperimenti di scelta

Fasi



A.A. 2023/24 - La nuova mobilità

de Dios Ortúzar and Willumsen
(2011) *Modelling transport*

- Verifiche statistiche sulla robustezza del design

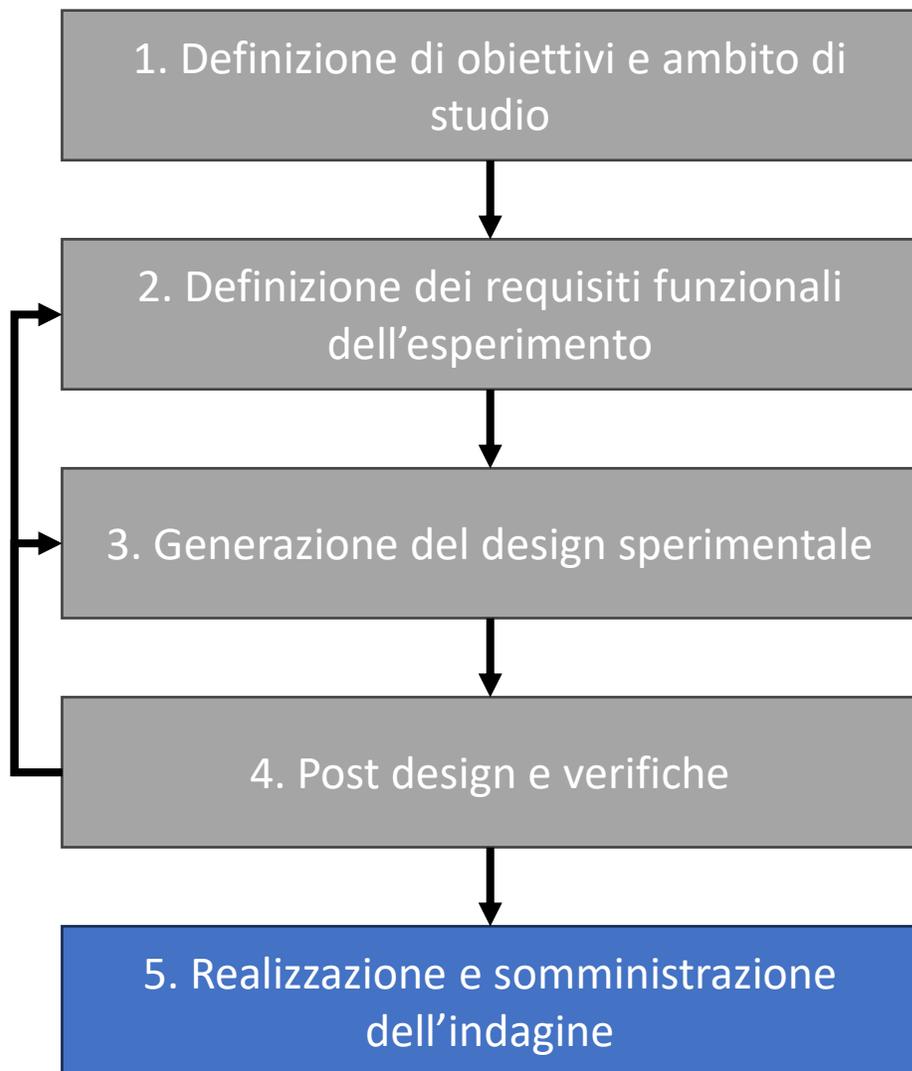


Massimiliano Gastaldi

Progettazione degli esperimenti di scelta

Fasi

de Dios Ortúzar and Willumsen
(2011) *Modelling transport*

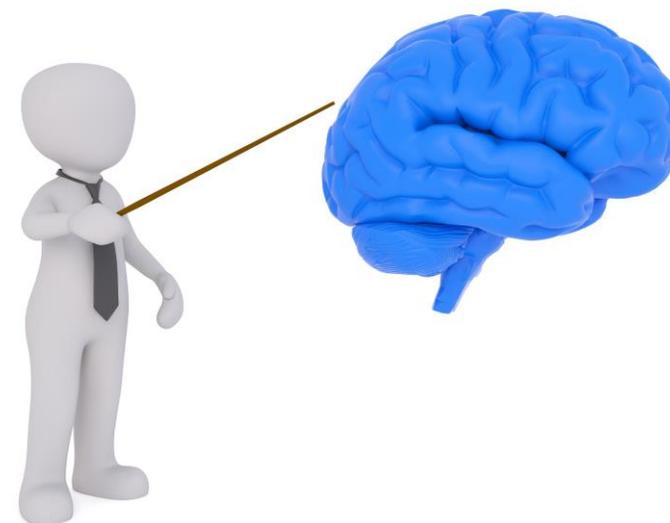


- Progettazione della descrizione del contesto, delle alternative
- Definizione delle domande relative agli esercizi di scelta
- Definizione dell'ordine di presentazione degli esercizi e delle alternative
- Tecnica di campionamento (casuale o stratificato)



Metodi

- Statistica descrittiva: descrizione delle informazioni ottenute dal campione mediante indicatori/grafici sintetici
- Statistica inferenziale: elaborazione delle informazioni del campione per generare affermazioni su tutta la popolazione
- Modelli comportamentali:
 - Formulazione matematica che simula il comportamento dei soggetti
 - Analisi dei fattori che hanno determinato le scelte
 - Previsioni delle scelte del campione e della popolazione



Obiettivo

Valutare le differenze tra l'uso della Realtà Virtuale e indagini tradizionali per lo studio di propensioni verso soluzioni di mobilità (incluso il MaaS).

- Struttura delle esperienze in Realtà Virtuale:
 - ©Focus su spostamento sistematico casa-lavoro
 - Test di varie modalità di trasporto per compiere lo spostamento
 - ? Esercizio di scelta tra le modalità esperite
 - Test di utilizzo del servizio MaaS
 - ? Esercizio di scelta per valutare la propensione verso il MaaS

Realtà virtuale: applicazione nell'ambito MaaS

L'esperienza all'interno del CN MOST

- Area di studio: centro di Padova
- Mezzi di trasporto (alternative):
 - Auto privata
 - Taxi
 - Car sharing
 - Trasporto pubblico (bus/tram)
 - Bike sharing
 - Monopattino in sharing
 - (spostamenti a piedi)



Realtà virtuale: applicazione nell'ambito MaaS

L'esperienza all'interno del CN MOST

- Attributi:

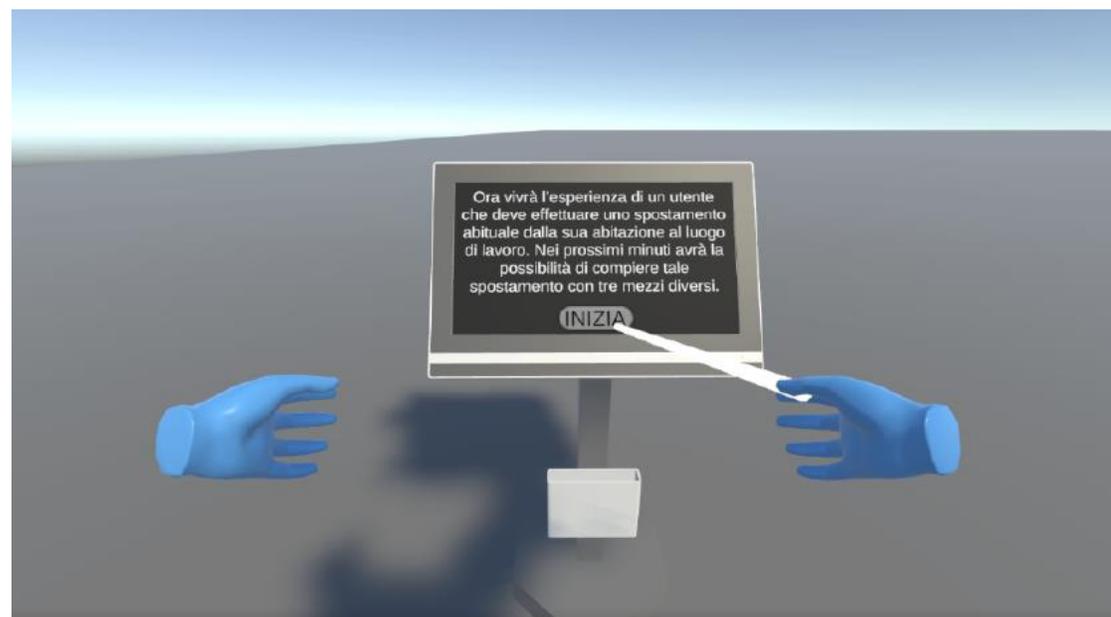
	Auto	Taxi	Car sharing	Trasporto pubblico	Bike sharing	Monopattino
Tempo di viaggio a bordo [min]	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Distanza a piedi verso il mezzo [m]			✓	✓	✓	✓
Distanza a piedi verso la destinazione [m]	✓		✓	✓		
Tempo di ricerca parcheggio [min]	✓		✓			
Tempo di attesa [min]		✓		✓		
Costo [€]	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Livello di affollamento/traffico				✓	✓	✓
Presenza di corsie riservate per bici					✓	✓
Mese di riferimento	✓	✓	✓	✓	✓	✓

Obiettivo

- Comprendere le modalità di esecuzione di un'esperienza in Realtà Virtuale per lo studio della propensione verso diversi mezzi di trasporto

Fasi di svolgimento

1. Esecuzione di uno spostamento casa-lavoro con 3 mezzi diversi:
 - Auto privata
 - Autobus
 - Bike sharing
2. Esercizio di scelta sulla preferenza per uno dei 3 mezzi



Spostamento in auto

1. Salita sul mezzo
2. Guida dell'auto
3. Ricerca di parcheggio
4. Parcheggio veicolo
5. Discesa dall'auto e arrivo a destinazione a piedi



Attività di laboratorio

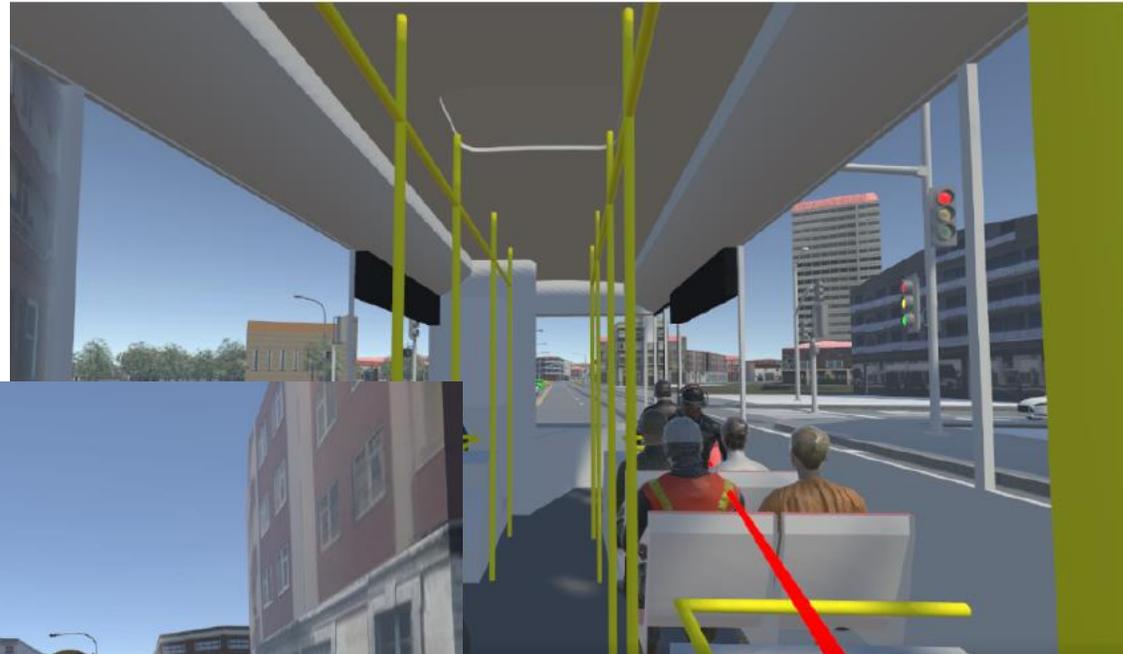


Spostamento in autobus

1. Arrivo a piedi alla fermata
2. Attesa del mezzo
3. Viaggio a bordo del bus
4. Arrivo a piedi a destinazione



A.A. 2023/24 - La nuova mobilità



Massimiliano Gastaldi

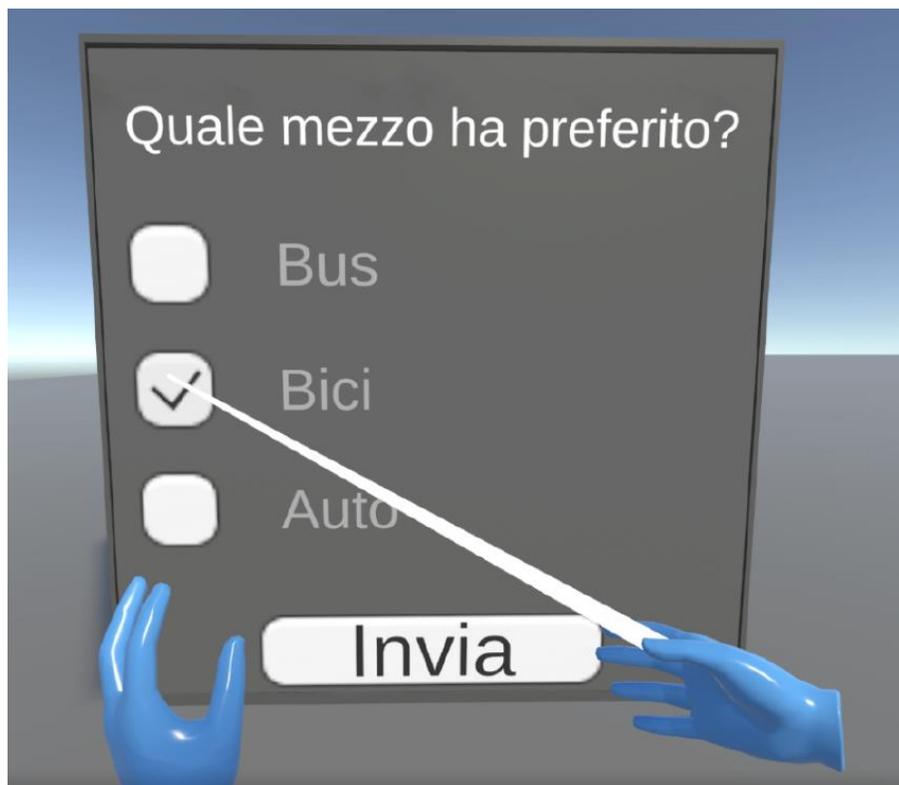
Spostamento in bike sharing



1. Spostamento a piedi verso la bici
2. Sblocco della bici
3. Viaggio sul mezzo
4. Blocco della bici
5. Arrivo a piedi a destinazione

Esercizio di scelta

1. Riepilogo delle caratteristiche dello spostamento con i 3 mezzi



	Bus	Bike Sharing	Auto Privata
Distanza a piedi verso il mezzo	200 m	150 m	-
Tempo di attesa del mezzo	2 min	-	-
Tempo di viaggio a bordo	7 min	6 min	15 min
Distanza a piedi verso la destinazione	450 m	-	70 m
Costo	43 €	15 €	300 €

CONTINUA

2. Scelta del mezzo preferito

Esempio di output

Subject ID	Alt.1	Tempo di viaggio a bordo	Distanza a piedi verso il mezzo	Distanza a piedi verso la destinazione	Tempo di ricerca parcheggio	Tempo di attesa	Costo	Livello di affollamento /traffico	Corsie riservate	Mese di riferimento
...										
123	Auto	5	0	100	2	0	5	0	0	1
...										

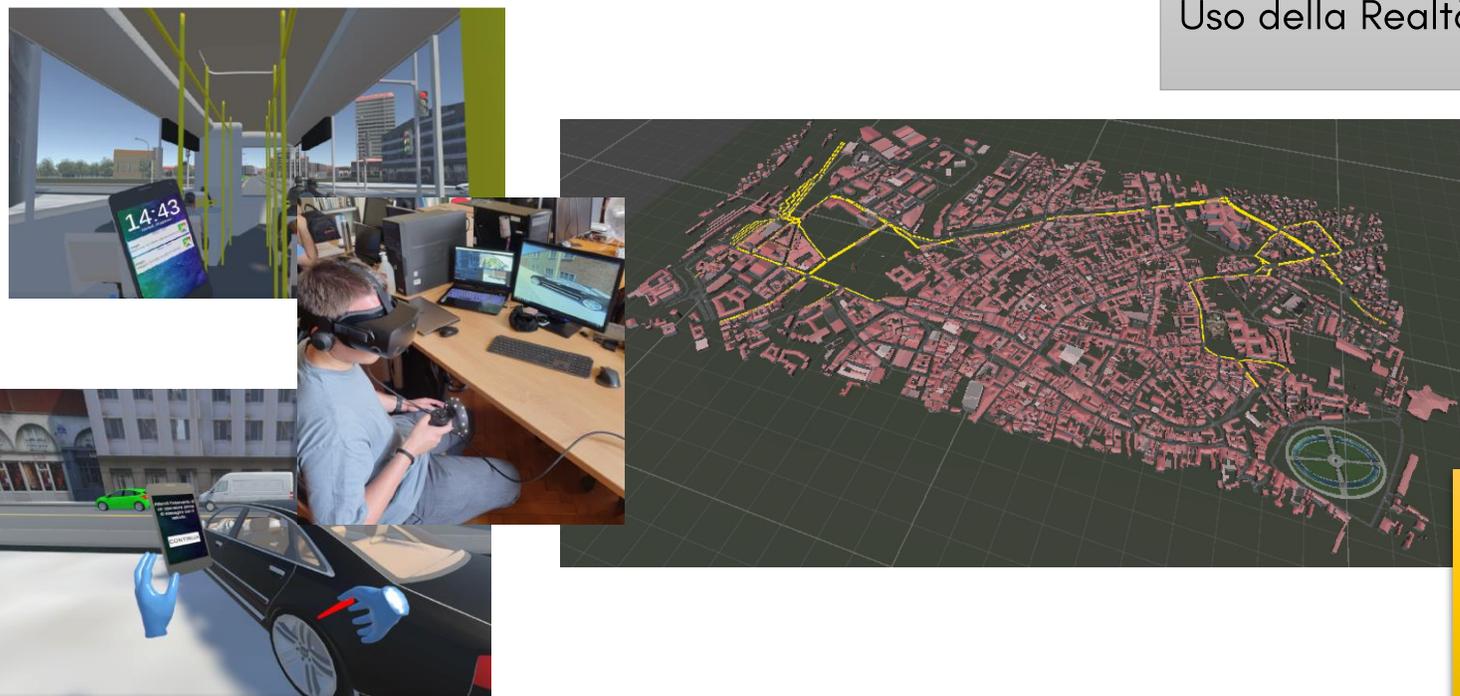
Subject ID	Alt.2	Tempo di viaggio a bordo	Distanza a piedi verso il mezzo	Distanza a piedi verso la destinazione	Tempo di ricerca parcheggio	Tempo di attesa	Costo	Livello di affollamento /traffico	Corsie riservate	Mese di riferimento
...										
123	Autobus	10	200	300	0	2	1.5	1	0	0
...										

Subject ID	Alt.3	Tempo di viaggio a bordo	Distanza a piedi verso il mezzo	Distanza a piedi verso la destinazione	Tempo di ricerca parcheggio	Tempo di attesa	Costo	Livello di affollamento /traffico	Corsie riservate	Mese di riferimento	Scelta
...											
123	Bike sharing	8	100	20	0	0	3	0	0	1	2
...											



Spoke 8 - Maas & Innovative Services

Task 1.2 Virtual reality technology experiments



Obiettivo

Uso della Realtà Virtuale per lo studio della mobilità

Per partecipare:

riccardo.ceccato@dicea.unipd.it

Progettazione di un esercizio di scelta

Obiettivo

Stimare la propensione all'uso di un servizio di trasporto pubblico verso unica destinazione

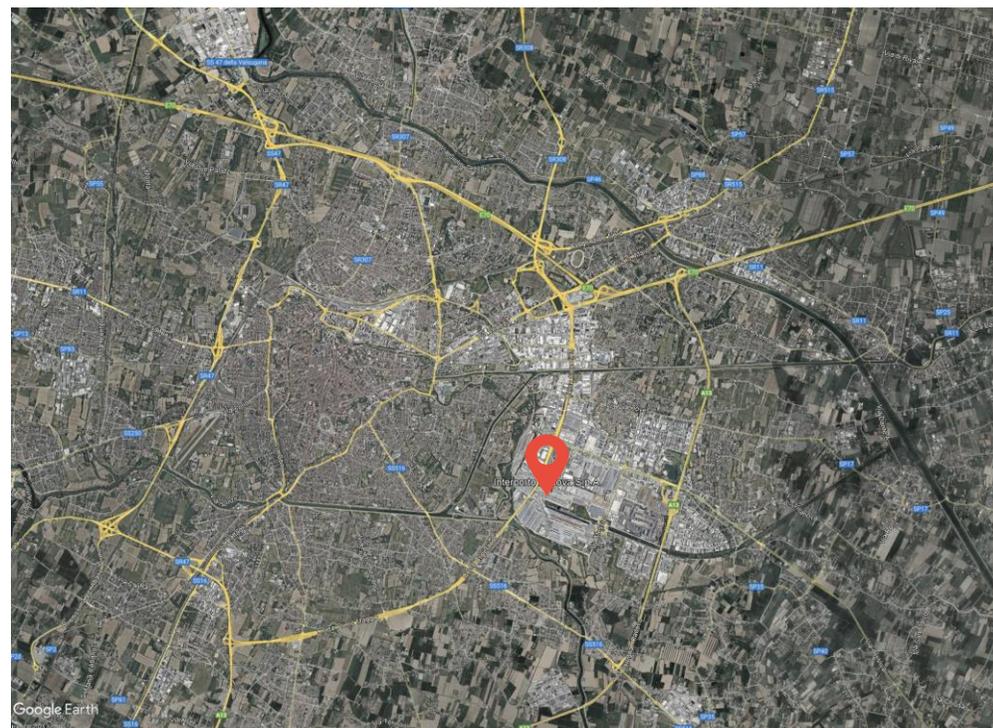
Dati

Popolazione: attuali 3.000 dipendenti

Destinazione: Corso Spagna 35 - 35127 Padova (PD)

Potenziati origini: Regione Veneto (spostamenti urbani/suburbani)

Caratteristiche del servizio: tariffa, frequenza



Progettazione di un esercizio di scelta

Contenuti minimi del report

1. Analisi del contesto di studio
2. Tipo di esperimento:
 - Labelled
 - Unlabelled
3. Definizione delle alternative di scelta (per spostamenti urbani e suburbani):
 - Nuova linea TPL
 - Auto privata
 - Bici privata
 - Bike sharing
 - Monopattino
 - Trasporto pubblico (bus, tram, treno)
 - Car pooling
 - Aereo
 - Nave

Progettazione di un esercizio di scelta

Contenuti minimi del report

4. Definizione degli attributi per ciascuna alternativa:
 - Costo
 - Tempo di viaggio a bordo
 - Tempo di attesa alla fermata
 - Distanza a piedi verso il mezzo
 - Distanza a piedi dal mezzo alla destinazione
 - Numero di passeggeri
 - Numero di fermate
 - Distanza dello spostamento
 - Disponibilità di parcheggio per il mezzo
5. Numero di livelli
6. Numero di esercizi di scelta
7. Numerosità minima del campione