

31 agosto 2022

Preparato per: Fondazione Innovazione Urbana

Monitoraggio dei Flussi Pedonali e Veicolari per la Valutazione di Interventi di Rigenerazione Urbana

Piazza Scolastica di Via Procaccini (Bologna)

Report

Il presente studio “Monitoraggio dei Flussi Pedonali e Veicolari per la Valutazione di Interventi di Rigenerazione Urbana – Piazza Scolastica di Via Procaccini (Bologna)” è stato realizzato da Systematica Srl¹ e Fondazione Transform Transport ETS², in collaborazione con Fondazione Innovazione Urbana e il Dipartimento Urbanistica, Casa e Ambiente del Comune di Bologna.

Fondata nel 1989, Systematica è una società di consulenza per la pianificazione dei trasporti e l'ingegneria della mobilità con sede a Milano, e filiali a Mumbai e New York. Systematica opera su più scale (nazionale, urbana/metropolitana e di sviluppo) e fornisce un'ampia gamma di servizi di consulenza integrata nei settori dei trasporti e dell'urbanistica (ad es. consulenza strategica per investimenti infrastrutturali, analisi e gestione del traffico, ingegneria della mobilità in edifici complessi ed eventi, progettazione dei parcheggi, applicazione di tecnologie di mobilità avanzata, ecc.).

Impegnata nella sua missione di fornire soluzioni innovative, Systematica cerca nuovi approcci per superare le sfide della pianificazione della mobilità e dei sistemi di trasporti, al fine di sostenere la crescita sostenibile attraverso la ricerca scientifica. Ad aprile del 2022 Systematica ha lanciato Fondazione Transform Transport ETS, un ente di ricerca no profit focalizzato sull'innovazione nella pianificazione della mobilità e dei trasporti. Transform Transport fornisce soluzioni di mobilità innovative, inclusive e sostenibili per il futuro delle città, in linea con l'SDG 11 delle Nazioni Unite (Città e comunità sostenibili).

¹ <https://www.systematica.net/>

² <https://transformtransport.org/>



Intertek
reg. n° 1115760



Intertek
reg. n° 2116874

Sintesi dei Risultati

A marzo del 2022 Fondazione Innovazione Urbana e il Comune di Bologna hanno realizzato una piazza scolastica provvisoria in Via Procaccini a Bologna (in prossimità di un istituto scolastico), utilizzando l'approccio dell'urbanistica tattica e della progettazione partecipata. L'area scelta per la realizzazione della piazza è stata oggetto di uno studio di mobilità realizzato da Systematica e Transform Transport.

Lo studio ha avuto come obiettivo il monitoraggio dei flussi pedonali e veicolari. Il monitoraggio è stato svolto attraverso osservazioni supportate da una videocamera e da tecniche di analisi automatizzata delle immagini. La ricerca ha prodotto una serie di analisi relative ai flussi osservati nell'area pre e post-intervento, al fine di supportare il processo di progettazione iterativa basato sull'approccio dell'urbanistica tattica.

Le analisi sono strutturate secondo una logica gerarchica temporale e spaziale, con l'obiettivo di dettagliare modelli specifici di utilizzo dello spazio. In particolare, i risultati delle analisi sono stati elaborati al fine di:

- Identificare gli orari di attivazione dell'area di studio prima e dopo l'intervento di riqualificazione della Piazza Scolastica, attraverso metriche di descrizione della densità pedonale cumulata e del tempo di permanenza cumulato;
- Definire le caratteristiche globali di utilizzo dello spazio, discretizzato su una griglia 1m x 1m, tramite metriche relative al tempo di permanenza cumulato e alle velocità medie;
- Caratterizzare gli usi relativi alle aree di studio a seguito dell'intervento di riqualificazione della piazza (ad es. carreggiata, piazza, arredi, ecc.);
- Calcolare la differenza globale di utilizzo prima e dopo l'intervento.

I risultati delle analisi hanno messo in evidenza una crescita del 43% del tempo di permanenza cumulato registrato nell'area a seguito dell'intervento di riqualificazione. In particolare, il tempo di permanenza cumulato nella Piazza Scolastica, trasformata da area di attraversamento ad area di sosta e gioco, aumenta di +216%. Sono evidenziate inoltre forti modifiche nella distribuzione spaziale dei pedoni nell'area di studio. Emergono nuove caratteristiche d'uso relative agli arredi nella piazza, che presentano i tempi di permanenza cumulata più rilevanti nell'area. L'analisi delle risultanze dei flussi veicolari mostra una decisa riduzione delle velocità medie in prossimità delle svolte con successivo attraversamento, contribuendo alla sicurezza dei pedoni che utilizzano le strisce pedonali.

I risultati presentati nel documento hanno permesso di quantificare l'efficacia dell'intervento di rigenerazione urbana di Via Procaccini, confermando la transizione da area di attraversamento ad area di sosta e gioco confortevole e sicura per i bambini. Lo studio conferma inoltre la metodologia proposta, basata sull'utilizzo di sensori e tecnologie di analisi innovative per la raccolta e analisi di dati a supporto della progettazione di interventi di rigenerazione urbana.

Indice

1	INTRODUZIONE	6
2	TECNICHE DI RACCOLTA E ANALISI DATI.....	8
2.1	PIANIFICAZIONE DELLA RACCOLTA DATI.....	8
2.1.1	Strumenti di raccolta dati	8
2.1.2	Posizionamento degli strumenti di raccolta dati	9
2.2	PROCESSO DI ANALISI DATI.....	9
2.2.1	Riconoscimento e tracciamento degli oggetti.....	10
2.2.2	Geo-referenziazione.....	10
2.2.3	Preelaborazione del dato e sviluppo delle metriche.....	11
2.2.4	Analisi GIS e mappatura	11
2.3	METRICHE DI ANALISI DATI	12
2.3.1	Discretizzazione spaziale	12
2.3.2	Discretizzazione temporale.....	13
2.3.3	Metriche.....	13
3	RISULTATI	14
3.1	ORARI DI ATTIVAZIONE.....	15
3.2	UTILIZZO DELLO SPAZIO – CARATTERISTICHE GENERALI	17
3.3	UTILIZZO DELLO SPAZIO – AREE DI INTERVENTO	19
3.3.1	Carreggiata.....	19
3.3.2	Piazza Scolastica.....	21
3.4	UTILIZZO DELLO SPAZIO – DIFFERENZE PRE/ POST-INTERVENTO	23
4	CONCLUSIONI	24
5	NOTE	27
6	BIBLIOGRAFIA.....	28

Figure

Figura 1.1. Programma delle attività di ricerca	7
Figura 2.1. Schermata di esempio relativa all'inquadratura globale dello spazio	9
Figura 2.2. Area osservata nella fase precedente e successiva all'intervento di urbanistica tattica realizzato in via Procaccini.....	12
Figura 3.1 Area di studio, tempo di permanenza [min] pre/ post-intervento	18
Figura 3.2 Area di studio, velocità [m/s] media pre/ post-intervento	19
Figura 3.3 Carreggiata, tempo di permanenza [min] pre/ post-intervento	20
Figura 3.4 Carreggiata, velocità media [m/s] pre/ post-intervento	20
Figura 3.5 Piazza Scolastica, tempo di permanenza [min] pre/ post-intervento	21
Figura 3.6 Piazza Scolastica, velocità media [m/s] pre/ post-intervento	23
Figura 3.7 Delta [s] – tempo di permanenza pre/ post-intervento.....	24
Figura 4.1 Visualizzazione assonometrica del tempo di permanenza pedonale cumulato.....	25
Figura 4.2 Analisi dei risultati relativi all'utilizzo pedonale dell'intervento	26
Figura 4.3 Analisi dei risultati relativi all'infrastruttura stradale	27

Tabelle

Tabella 3.1 Piazza Scolastica – arredi, post-intervento	21
---	----

Grafici

Grafico 3.1 Tempo di permanenza [min] cumulato ogni 15 minuti, pre/ post-intervento, giorni feriali.....	16
Grafico 3.2 Tempo di permanenza [min] cumulato ogni 15 minuti, pre/ post-intervento, giorni festivi	16
Grafico 3.3 Densità cumulata [pedoni/m ²], post-intervento, giorni feriali e festivi	17
Grafico 3.4 Piazza Scolastica – arredi, delta [%] tempo di permanenza arredi/piazza post-intervento	22

1 Introduzione

La pianificazione di infrastrutture e servizi per la mobilità urbana sostenibile è una delle principali sfide delle città Europee (Buhrmann, S., Wefering, F., Rupprecht, S., 2019), che si trovano sempre più spesso ad affrontare problemi di congestione del traffico, sicurezza stradale, dipendenza energetica e inquinamento atmosferico (United Nations, 2016). In questo contesto, le attività di pianificazione si stanno concentrando sulla camminabilità o *walkability* (Abley & Hill, 2005; Speck, 2013), vale a dire quanto l'ambiente urbano sia adatto a camminare o a trascorrere del tempo negli spazi pubblici. Il miglioramento del livello di camminabilità di un'area urbana implica la presenza di un'infrastruttura pedonale confortevole, sicura e priva di barriere architettoniche, ma anche di ambienti a misura d'uomo che permettano occasioni di socialità (Gehl, 2013).

L'attenzione alla camminabilità, iniziata con i principi evidenziati dalla Carta Europea dei Diritti dei Pedoni emanata dal Parlamento Europeo nel 1981³, si è resa ancora più evidente considerati gli effetti senza precedenti della pandemia da Covid-19 sulla mobilità urbana. Nel luglio 2020 la Commissione Europea (European Platform on Sustainable Urban Mobility Plans, 2020) ha fornito delle linee guida per l'attuazione di interventi di pianificazione della mobilità pedonale (ad es. estensione dei marciapiedi, gestione delle code nelle infrastrutture di trasporto, realizzazione di spazi pubblici provvisori, ecc.), volti a garantire ai cittadini la possibilità di accedere a piedi ai servizi di prima necessità (i.e., *Città 15 Minuti*) (Moreno et al., 2021).

Sebbene gli approcci tradizionali allo studio della mobilità pedonale tendano a concentrarsi sulla dimensione spaziale (Annunziata & Garau, 2020; Steinfeld, 2011), le caratteristiche individuali dei pedoni hanno un impatto significativo sul livello percepito di camminabilità. Come evidenziato dall'Agenda 2030 per lo Sviluppo Sostenibile adottata dagli Stati Membri delle Nazioni Unite (United Nations, 2016) (i.e., *SDG 11.2-Trasporti sostenibili per tutti*), la mobilità urbana dovrebbe essere progettata in modo da essere più inclusiva rispetto alle esigenze di coloro che si trovano in situazioni di vulnerabilità, come gli anziani, i bambini e le persone con disabilità.

In questo contesto, la ricerca si concentra sulla valutazione della camminabilità per i bambini di età compresa tra i 5 e i 13 anni (studenti delle scuole primarie e secondarie). Lo studio si inserisce all'interno di recenti sforzi nella progettazione di strade e spazi pubblici sicuri, confortevoli e vivibili per i bambini (Peyton, 2019; Aerts, 2018; Danenberg, Doumpa & Karssenbergh, 2018). La camminabilità per i bambini comprende infatti l'opportunità di giocare liberamente all'aria aperta, di camminare in modo indipendente e sicuro, e di sviluppare un senso di appartenenza per il proprio quartiere (Krysiak, 2020).

Lo studio è stato condotto da Systematica e Transform Transport, in collaborazione con Fondazione Innovazione Urbana e il Dipartimento Urbanistica, Casa e Ambiente del Comune di Bologna, con l'obiettivo di supportare la pianificazione di strategie di mobilità sostenibile e

³ Disponibile al link: <https://goo.gl/0vKTJ9>

inclusiva nella città di Bologna (Figura 1.1). La prima fase della ricerca (i.e., *scala macroscopica*) è iniziata a dicembre del 2020 con l'obiettivo di valutare il livello di accessibilità pedonale dei servizi pubblici dedicati ai bisogni dei bambini attraverso l'analisi GIS di dati georeferenziati resi disponibili dal Geoportale della città di Bologna. I risultati di questa fase della ricerca sono stati poi presentati il 13 maggio 2021 in occasione della Biennale dello Spazio Pubblico⁴ (Abdelfattah et al., 2021).

La seconda parte della ricerca (da maggio a settembre 2021) si è focalizzata sulla valutazione del livello di camminabilità per i bambini della città di Bologna, secondo i criteri di: (i) accessibilità dei servizi; (ii) comfort dell'infrastruttura pedonale; (iii) sicurezza stradale; (iv) attrattività degli spazi pubblici. I risultati di questa analisi GIS⁵ (Gorrini et al., 2022) si sono focalizzati in particolare sul quartiere Navile (i.e., *scala mesoscopica*), selezionato dal Comune di Bologna per la progettazione di uno spazio pubblico per i bambini.

La terza fase dello studio (da febbraio ad aprile 2022) ha visto il coinvolgimento di Fondazione Innovazione Urbana e del Comune di Bologna per la progettazione di una nuova Piazza Scolastica (i.e., *scala microscopica*), realizzata a marzo 2022 attraverso l'approccio dell'urbanistica tattica e della progettazione partecipata⁶. La nuova Piazza Scolastica è stata realizzata in un'area adibita a sosta non regolamentata situata in Via Procaccini (quartiere Navile), nelle vicinanze di un Istituto Scolastico che ospita una scuola primaria e secondaria.

L'area è stata oggetto dello studio realizzato da Systematica e Transform Transport, finalizzato al monitoraggio pre e post-intervento dei flussi pedonali e veicolari. Il monitoraggio è stato svolto attraverso osservazioni supportate da una videocamera e da tecniche di analisi automatizzata delle immagini (Barthélemy et al., 2019; Ibrahim; Zhao et al., 2019; Haworth and Cheng, 2020). Lo studio ha prodotto una serie di analisi temporali e spaziali relative ai flussi osservati nell'area (ad es. mappe di densità, utilizzo dello spazio, velocità medie, comportamenti di attraversamento stradale, ecc.), con l'obiettivo di supportare il processo di progettazione iterativa basato sull'approccio dell'urbanistica tattica.

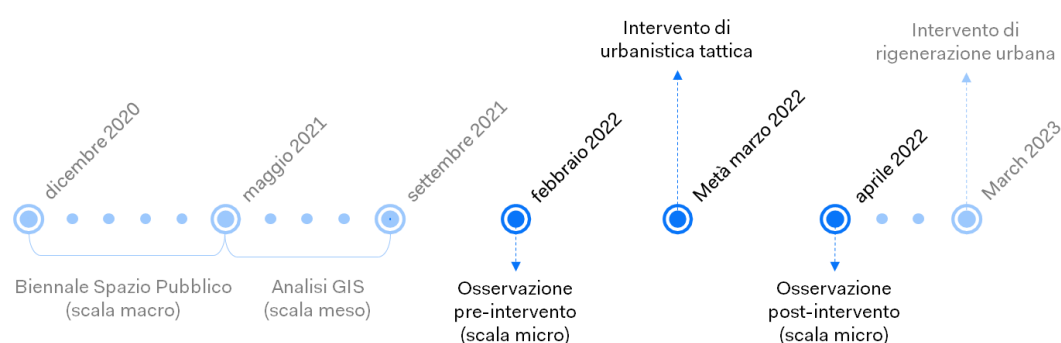


Figura 1.1. Programma delle attività di ricerca

⁴ Disponibile al link: <https://research.systematica.net/journal/proximity-services-for-children-the-case-of-bologna/>

⁵ Disponibile al link: <https://transformtransport.org/research/livable-streets/walkability-for-children-in-bologna-gis-and-space-syntax-applications/>

⁶ Come parte delle attività di ricerca del progetto EN-UAC "EX-TRA – EXperimenting with city streets to TRAnsform urban mobility" (No. 99950032).

2 Tecniche di Raccolta e Analisi Dati

Al fine di definire i passaggi necessari alla riproducibilità dello studio, il secondo capitolo del report descrive il processo di raccolta, elaborazione e analisi dei dati.

2.1 PIANIFICAZIONE DELLA RACCOLTA DATI

Nell'ambito della riqualificazione dell'area della Piazza Scolastica di Via Procaccini, è stata svolta una campagna di raccolta dati video con l'obiettivo di svolgere un'analisi quantitativa dell'uso dello spazio pre e post-intervento. Le fasi di raccolta, trattamento e analisi dei dati video sono state pianificate e condotte nel pieno rispetto della normativa vigente in materia di privacy (GDPR – EU, 2016/679). In particolare, la campagna di raccolta dati ha previsto il monitoraggio dell'area per circa due mesi, con le seguenti modalità:

- Pre-intervento: dal 07/02/2022 al 04/03/2022;
- Post-intervento: dal 02/04/2022 al 31/04/2022.

La raccolta dei dati video è stata circoscritta a tre fasce orarie giornaliere, con l'obiettivo di analizzare le caratteristiche d'uso e attivazione dello spazio in relazione a:

- 7:00 – 9:00: ingresso scolastico;
- 13:00 – 15:00: uscita scolastica;
- 17:00 – 19:00: uso quotidiano dell'area.

2.1.1 Strumenti di raccolta dati

I dati video sono stati raccolti tramite una telecamera EXIR, con le seguenti caratteristiche:

- Lente: grandangolare;
- Qualità immagine: 1280x720 pixel;
- FAS (Fotogrammi Al Secondo): 15 FAS;
- Encoding: H.264.

Il funzionamento dell'apparecchiatura e la fruibilità dei dati sono stati gestiti tramite:

- Trasmissione dati attraverso scheda SIM;
- Alimentazione della telecamera con pannelli solari.

2.1.2 Posizionamento degli strumenti di raccolta dati

Il posizionamento degli strumenti di raccolta dati video è stato guidato da principi di flessibilità e riproducibilità dello studio, legati alla possibilità di ricollocare l'attrezzatura in nuove aree di intervento. Inoltre, è stato determinato dalla necessità di ottenere un'inquadratura globale dello spazio al fine di determinarne gli usi (Figura 2.1).

Seguendo questi principi, la telecamera preposta alla raccolta dati video è stata installata su un palo all'angolo tra via Procaccini e via di Vincenzo (lato nord), ad un'altezza di circa 3m e con un asse medio di inquadratura parallelo a via Procaccini rivolto verso la Piazza Scolastica.

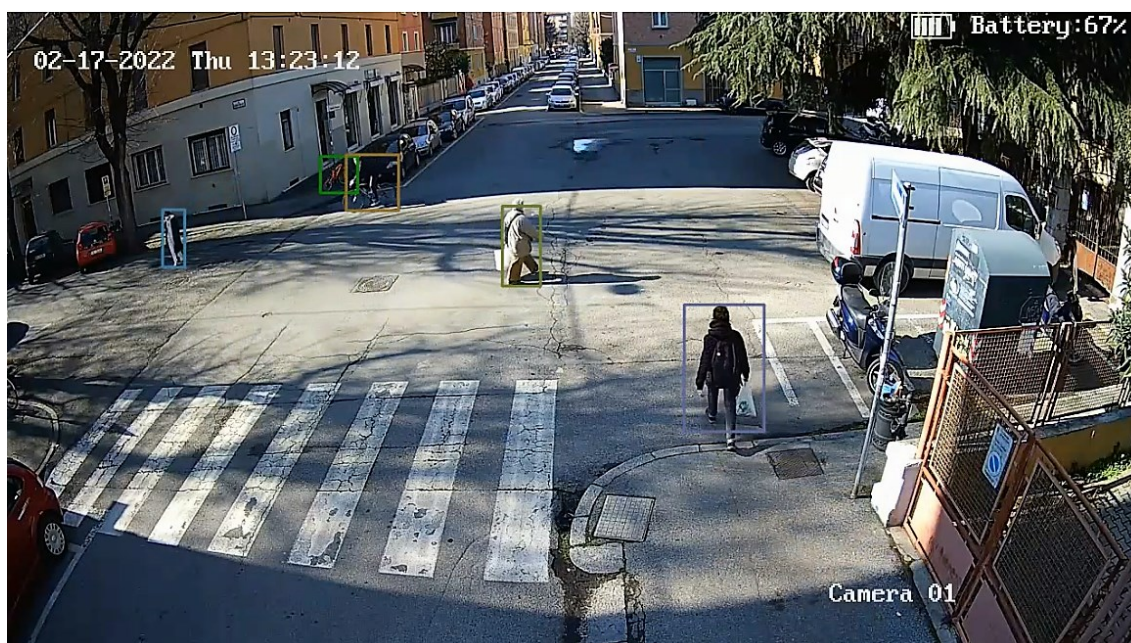


Figura 2.1. Schermata di esempio relativa all'inquadratura globale dello spazio

2.2 PROCESSO DI ANALISI DATI

I dati raccolti tramite videocamera sono stati elaborati in quattro fasi, al fine di:

1. Riconoscere e tracciare gli oggetti presenti nei video, tramite algoritmi di deep learning;
2. Trasporre gli oggetti riconosciuti da vista prospettica a vista 2D, tramite un processo di geo-referenziazione dei fotogrammi;
3. Elaborare i dati geo-referenziati e sviluppare metriche riassuntive per la caratterizzazione e quantificazione degli eventi oggetti riconosciuti nell'area;
4. Visualizzare e mappare le metriche sviluppate tramite GIS.

2.2.1 Riconoscimento e tracciamento degli oggetti

La prima fase delle analisi è stata svolta utilizzando algoritmi di deep learning per il riconoscimento e tracciamento di oggetti, al fine di quantificare i pedoni e i veicoli presenti nell'area. In particolare, sono stati utilizzati due algoritmi open source: YOLO v5 e Deep Sort⁷.

YOLO-You Only Look Once (Jocher et al., 2021; Gutta, 2021) è un algoritmo di riconoscimento degli oggetti basato su reti neurali convoluzionali (i.e., CNN). L'architettura dell'algoritmo è strutturata in tre componenti:

1. Backbone – CSPDarknet (Cross Stage Partial Darknet): è utilizzato per estrarre le caratteristiche principali dalle immagini in input;
2. Neck – PANet (Path Aggregation Network): è utilizzato per estrarre le immagini, generalizzare il modello e identificare le caratteristiche degli oggetti a diverse scale;
3. Head – Yolo: è utilizzato per delimitare gli oggetti identificati nelle immagini e assegnare le relative probabilità di appartenere alle diverse classi (ad es. pedoni, veicoli, ecc.).

Nel contesto di questo studio, è stato utilizzato un modello open source di Yolo v5, allenato su immagini riprese da camere CCTV nella città di Montreal⁸.

Deep Sort è un metodo di tracciamento di oggetti basato su un'applicazione ricorsiva del filtro di Kalman, che permette di assegnare un ID univoco allo stesso oggetto riconosciuto in più immagini. In particolare, il filtro di Kalman utilizza informazioni stimate sulla posizione e velocità di un oggetto per effettuare previsioni sulla sua posizione futura.

Il risultato del processo di riconoscimento e tracciamento degli oggetti è la creazione di un documento di testo in cui sono esplicitate le informazioni relative agli oggetti in forma anonima. Ogni riga del documento descrive: fotogramma del video, ID oggetto (espresso in caratteri numerici), classe oggetto (i.e., *pedone*, *veicolo*), pixel X, pixel Y.

2.2.2 Geo-referenziazione

La seconda fase delle analisi si è focalizzata sul traslare le coordinate immagine relative agli oggetti identificati nei video (i.e., *pixel X*, *pixel Y*) in coordinate geografiche (i.e., *latitudine*, *longitudine*). L'obiettivo di questa fase delle analisi è eliminare la distorsione prospettica delle immagini, localizzando pedoni e veicoli nell'area di intervento. Il processo utilizzato nel presente studio è stato strutturato come segue:

1. Selezione di un fotogramma di riferimento e identificazione di punti di controllo (i.e., GCP) che definiscano le corrispondenze tra coordinate immagine e coordinate geografiche;
2. Creazione di una immagine tipo con colori casuali univoci (i.e., RGB);

⁷ Disponibile al link: https://github.com/mikel-brostrom/Yolov5_StrongSORT_OSNet/releases/tag/v5.0

⁸ Disponibile al link: <https://github.com/VilledeMontreal/urban-detection/releases>

3. Utilizzo del plugin Georeferencer⁹ del software QGIS per traslare l'immagine tipo, usando la funzione *Thin Plate Spline*;
4. Abbinamento delle coordinate pixel nell'immagine tipo con le coordinate geografiche dell'immagine tipo georeferenziata;
5. Ripetizione del punto 4 per ogni fotogramma dei video, tramite un processo automatico scritto in Python.

2.2.3 Preelaborazione del dato e sviluppo delle metriche

La terza fase di analisi ha incluso la validazione/ preelaborazione del dato e lo sviluppo di metriche riassuntive volte a quantificare e caratterizzare l'area osservata. In questa fase, i dati relativi ai singoli video sono stati uniti e discretizzati a livello spaziale su una griglia di 1m x 1m.

I dati aggregati sono stati quindi filtrati, con l'obiettivo di attenuare l'influenza di fattori che impediscano sistematicamente il riconoscimento di oggetti in alcune aree dello spazio (i.e., *sotto campionamento*) o che ne favoriscano riconoscimenti ripetuti (i.e., *sovra campionamento*). Questi possono essere legati a:

- Configurazioni geometriche dell'inquadratura;
- Condizioni meteo e di illuminazione.

Con questo obiettivo, le celle che presentavano un valore cumulato di oggetti riconosciuti inferiore al primo percentile o superiore al novantanovesimo percentile della distribuzione del dato sono state filtrate dall'analisi ad ogni livello temporale.

Inoltre, per le analisi sulle velocità medie relative ai flussi pedonali e veicolari osservati nell'area è stato effettuato un ulteriore processo di validazione del dato, filtrando gli oggetti con una velocità superiore al novantottesimo percentile rispetto alla distribuzione dei valori.

2.2.4 Analisi GIS e mappatura

La quarta fase delle analisi si è focalizzata sulla produzione di mappe ed elaborati grafici ottenuti tramite il software open source QGIS v3.26¹⁰. In particolare, sono state elaborate alcune mappe di descrizione dell'utilizzo medio dell'area osservata nella fase precedente e successiva all'intervento di urbanistica tattica realizzato in via Procaccini (*Figura 2.2*). Inoltre, sono elaborate altre mappe cumulate al fine di sintetizzare i principali cambiamenti d'uso, calcolati tramite una metrica di differenza di tempo di utilizzo.

⁹ Disponibile al link: https://docs.qgis.org/2.18/it/docs/user_manual/plugins/plugins_georeferencer.html

¹⁰ Disponibile al link: <https://www.qgis.org/it/site/>



Figura 2.2. Area osservata nella fase precedente e successiva all'intervento di urbanistica tattica realizzato in via Procaccini

2.3 METRICHE DI ANALISI DATI

Il Paragrafo 2.3 riassume le metriche quantitative sviluppate per l'analisi dei dati raccolti da telecamera, con l'obiettivo di fornire un quadro di utilizzo dell'area della Piazza Scolastica di Via Procaccini.

2.3.1 Discretizzazione spaziale

Le analisi presentate nello studio sono classificate in due gruppi, in relazione alla discretizzazione spaziale necessaria per il calcolo delle stesse:

- La densità cumulata è calcolata su un poligono che definisce l'intera area di studio: Piazza Scolastica, carreggiata, marciapiedi e attraversamenti;
- Le analisi relative al tempo di permanenza e alla velocità media sono discretizzate a livello spaziale su una griglia di 1m x 1m, che struttura l'area di studio in 1762 celle. Le celle analizzate sono classificate secondo la loro destinazione d'uso pedonale e veicolare:
 - Piazza Scolastica;
 - Giochi;
 - Sedute;
 - Panchine.
 - Carreggiata:
 - Via Procaccini, svolta A – Via da Faenza, svolta B – Via di Vincenzo;
 - Drop-off scolastico.

2.3.2 Discretizzazione temporale

Le analisi sono state discretizzate a livello temporale secondo una logica di disaggregazione progressiva, volta ad identificare modelli d'uso cumulati e granulari, legati alle destinazioni d'uso e alle attrazioni dell'area di studio. In particolare, la classificazione temporale è stata strutturata in:

- Giorno medio pre/ post-intervento;
- Giorni feriali/ giorni festivi;
- Fasce orarie (7:00-9:00, 13:00-15:00, 17:00-19:00);
- Intervalli di 15 minuti.

2.3.3 Metriche

2.3.3.1 Tempo di permanenza cumulato

Il tempo di permanenza cumulato, espresso in minuti equivalenti, quantifica il numero totale di minuti trascorsi nell'area di studio discretizzata su una griglia di 1m x 1m. Questa metrica ha permesso di identificare le aree più calpestate, gerarchizzando l'area di intervento in relazione ai suoi usi.

Il tempo di permanenza cumulato è stato calcolato come segue:

- Aggregazione spaziale degli oggetti riconosciuti in ogni cella della griglia;
- Conversione da fotogrammi video in secondi (i.e., $1 \text{ fotogramma} = 1/15 \text{ secondi}$);
- Somma, per ogni cella della griglia, dell'occupazione al secondo della stessa;
- Somma, per ogni giorno dell'analisi, del tempo di occupazione a diverse disaggregazioni temporali (i.e., *giornaliera*, *fascia oraria*, *intervalli di 15 minuti*), per ottenere una metrica che descriva il tempo di permanenza cumulato;
- Calcolo della media del tempo di permanenza cumulato a diverse disaggregazioni temporali, per ottenere valori medi che descrivano l'occupazione di ogni cella.

2.3.3.2 Velocità media

Le analisi sulle velocità media hanno permesso di descrivere il modo d'uso dello spazio urbano da parte di pedoni e veicoli, fornendo una classificazione spaziale e comportamentale in:

- Luoghi di sosta e gioco;
- Aree di attraversamento pedonale;
- Aree di circolazione veicolare.

La velocità media è stata calcolata come segue:

- Conversione da fotogrammi video in secondi (i.e., $1 \text{ fotogramma} = 1/15 \text{ secondi}$);

- Conversione dei punti georeferenziati con ID univoco in traiettorie, utilizzando la libreria MovingPandas¹¹ in Python;
- Validazione delle traiettorie composte da meno di 20 punti georeferenziati;
- Calcolo di velocità e direzione per ogni segmento delle traiettorie validate;
- Aggregazione spaziale dei punti assegnati alle traiettorie nelle celle della griglia;
- Eliminazione dei punti le cui velocità superano il novantottesimo percentile della distribuzione;
- Calcolo della velocità media, a diverse disaggregazioni temporali (i.e., *giorni, fasce orarie, intervalli di 15 minuti*), per ogni cella della griglia.

2.3.3.3 Densità cumulata

Le analisi sulla densità cumulata hanno permesso di quantificare la presenza cumulata di pedoni nell'area di studio della Piazza Scolastica di via Procaccini, definendo il valore cumulato di compresenza a tutti i livelli di discretizzazione temporale.

La densità cumulata è stata calcolata come segue, a partire dalla metodologia implementata per il calcolo della velocità media:

- Conversione da fotogrammi in secondi (i.e., *1 fotogramma = 1/15 secondi*);
- Conversione dei punti georeferenziati con ID univoco in traiettorie, utilizzando la libreria MovingPandas in Python;
- Validazione delle traiettorie composte da meno di 20 punti;
- Calcolo di velocità e direzione per ogni segmento delle traiettorie validate;
- Aggregazione spaziale dei punti assegnati alle traiettorie in una cella;
- Eliminazione dei punti le cui velocità superano il novantottesimo percentile della distribuzione;
- Conteggio degli ID univoci delle traiettorie che descrivono il valore totale di pedoni registrati nell'area di studio;
- Calcolo del numero di pedoni/m² nell'area di studio.

3 Risultati

Il terzo capitolo del report riassume i risultati ottenuti attraverso l'analisi dei flussi pedonali e veicolari osservati nell'area della nuova Piazza Scolastica di via Procaccini (Bologna). Le analisi sono strutturate secondo una logica gerarchica temporale e spaziale, con l'obiettivo di dettagliare modelli specifici di utilizzo dello spazio.

¹¹ Disponibile al link: <https://anitagraser.github.io/movingpandas/>

In particolare, i risultati delle analisi sono stati elaborati al fine di:

- Identificare gli orari di attivazione dell'area di studio prima e dopo l'intervento di riqualificazione della Piazza Scolastica, attraverso metriche di descrizione della densità pedonale cumulata e del tempo di permanenza cumulato;
- Definire le caratteristiche globali di utilizzo dello spazio, discretizzato su una griglia 1m x 1m, tramite metriche relative al tempo di permanenza cumulato e alle velocità medie;
- Caratterizzare l'utilizzo specifico dell'area di studio a seguito dell'intervento di riqualificazione della piazza (i.e., *carreggiata, piazza, arredi*);
- Calcolare la differenza globale di utilizzo prima e dopo l'intervento.

3.1 ORARI DI ATTIVAZIONE

La prima fase di analisi della Piazza Scolastica di Via Procaccini si è focalizzata sullo studio dei suoi momenti di attivazione nelle fasi precedenti e successive all'intervento di urbanistica tattica. Questa analisi si è concentrata sui giorni feriali e festivi, suddivisi in tre fasce orarie identificate come momenti caratterizzati dall'ingresso a scuola (7:00 – 9:00), dall'uscita da scuola (13:00 – 15:00) e dall'utilizzo spontaneo dell'area (17:00 – 19:00). Le tre fasce orarie sono state in seguito suddivise in intervalli di 15 minuti, con l'obiettivo di caratterizzare a livello granulare gli schemi di utilizzo e frequentazione dell'area.

Il livello di utilizzo è stato quantificato come tempo di permanenza cumulato, espresso in minuti equivalenti, con l'obiettivo di stimare il numero di minuti trascorsi dai pedoni nell'area osservata. Nello specifico, i minuti equivalenti corrispondono alla somma dei minuti trascorsi su ogni cella della griglia di 1m x 1m attraverso cui è stata discretizzata l'area. È stata inoltre utilizzata la metrica della densità cumulata, calcolata su tutta l'area di studio ed espressa in pedoni/m². Entrambe le metriche hanno fornito informazioni relative all'uso totale dell'area.

Il *Grafico 3.1* e *3.2* sintetizzano i risultati dell'analisi per i giorni feriali e festivi, mostrando il tempo di permanenza cumulato nel periodo precedente e successivo all'intervento di riqualificazione, e la differenza percentuale negli intervalli orari. Si nota che il tempo di occupazione cumulato cresce nella maggioranza degli intervalli temporali a seguito dell'intervento, confermando la transizione da area di attraversamento ad area di sosta e gioco.

In particolare, il *Grafico 3.1* mostra gli andamenti relativi ai giorni feriali. Sono evidenziati differenze di livello di utilizzo percentuale rilevanti tra le 7:30 – 7:45 (+87%) e tra le 14:15 – 14:30 (+88%). Questi risultati denotano una tendenza a sostare maggiormente nella Piazza Scolastica nei momenti che precedono e seguono l'orario scolastico. Inoltre, si nota un forte incremento percentuale nella fascia oraria 17:00 – 19:00 (+77%), in cui l'area, a seguito dell'intervento di riqualificazione, si attiva in relazione a dinamiche non più legate a funzioni scolastiche.

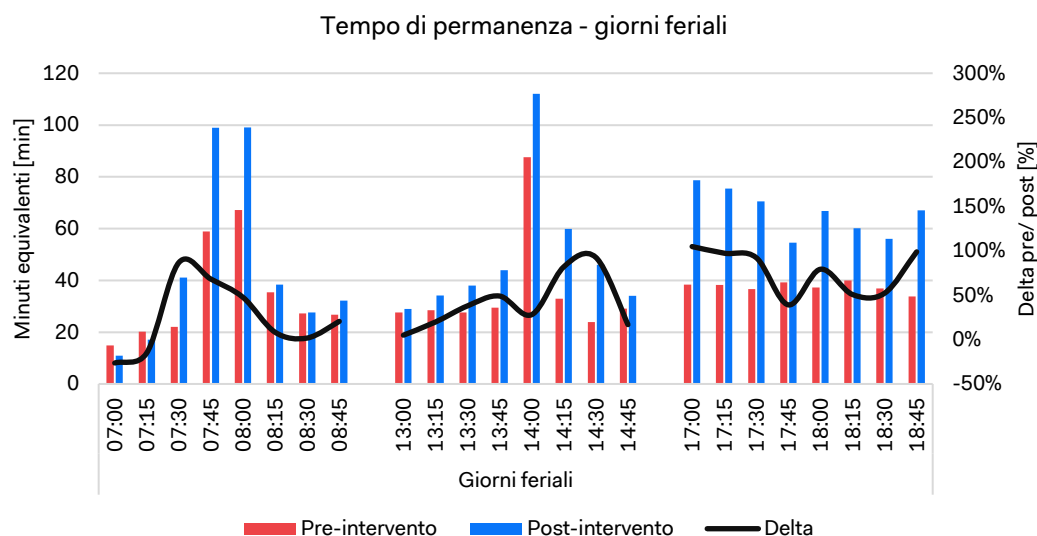


Grafico 3.1 Tempo di permanenza [min] cumulato ogni 15 minuti, pre/ post-intervento, giorni feriali

Il *Grafico 3.2* sintetizza i risultati dell'analisi per i giorni festivi, evidenziando gli schemi di utilizzo non relativi alle funzioni scolastiche. Emergono picchi di crescita del tempo di permanenza cumulata, che raggiungono +270% nella fascia 13:00 – 15:00. Aumentano inoltre i tempi di permanenza nella fascia pomeridiana, con un aumento medio pari +33%. Le differenze percentuali relative alla fascia mattutina descrivono invece un incremento di utilizzo legato a tempi di permanenza minimi e possono essere legate alla stagionalità della raccolta dati.

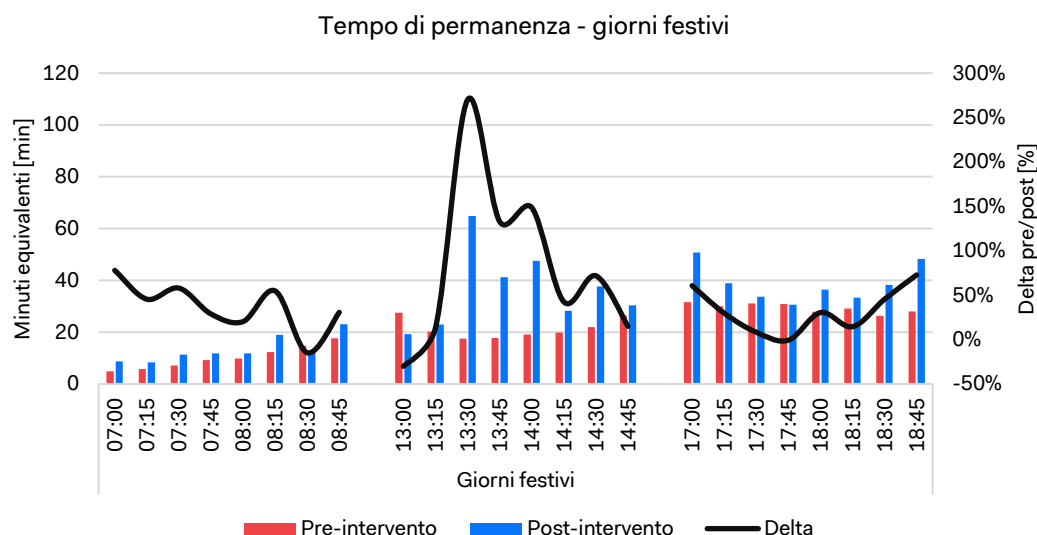


Grafico 3.2 Tempo di permanenza [min] cumulato ogni 15 minuti, pre/ post-intervento, giorni festivi

Infine, il *Grafico 3.3* esprime la densità cumulata dell'area di studio a seguito dell'intervento di urbanistica tattica. La densità cumulata dell'area di studio presenta un intervallo compreso tra

0.004 e 0.05 pedoni/m². L'andamento del grafico mostra risultati simili a quelli del tempo di utilizzo cumulato, con picchi nei momenti di ingresso/ uscita da scuola nei giorni feriali e picchi nelle fasce 13.00-15.00 e 17.00-19.00 nei giorni festivi.

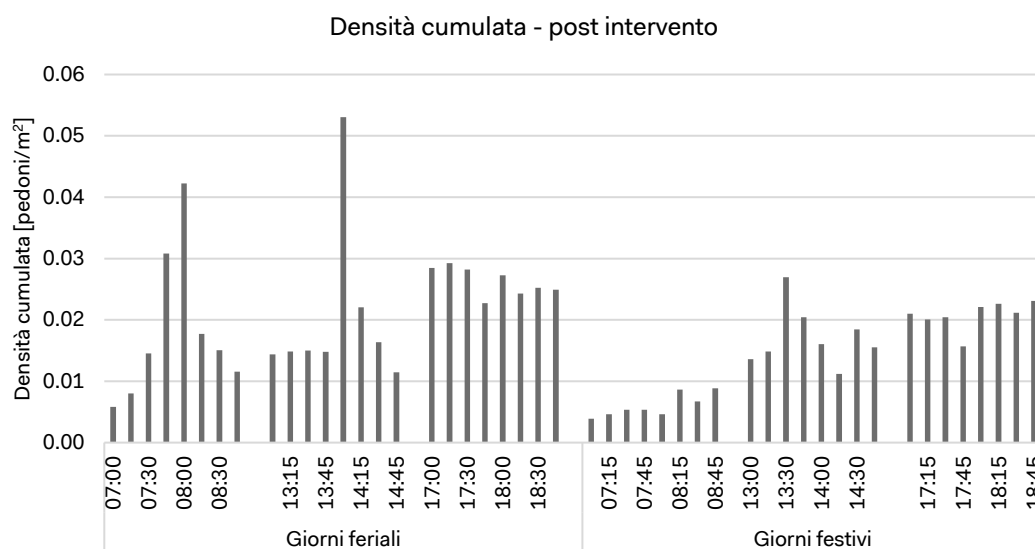


Grafico 3.3 Densità cumulata [pedoni/m²], post-intervento, giorni feriali e festivi

3.2 UTILIZZO DELLO SPAZIO – CARATTERISTICHE GENERALI

L'utilizzo dello spazio per l'area della Piazza Scolastica di Via Procaccini è stato quantificato tramite metriche che descrivono il tempo di permanenza cumulato e le velocità medie. I risultati sono sintetizzati in tavole raffiguranti i valori medi dei due periodi relativi al pre e post-intervento.

Il tempo di permanenza cumulato, espresso in minuti equivalenti, ha permesso di quantificare il numero di minuti trascorsi nell'area di studio discretizzata su una griglia di 1m x 1m e di identificare le aree più calpestate, gerarchizzando quindi l'area di intervento in relazione ai suoi usi e descrivendo il cambiamento globale dell'uso dello spazio da parte dei suoi fruitori.

In particolare, l'analisi dei flussi pedonali è stata volta a quantificare la presenza di pedoni e a valutare le nuove configurazioni spaziali definite a seguito dell'intervento di riqualificazione della Piazza Scolastica. I risultati mostrano una crescita del 43% del tempo di permanenza cumulato registrato nell'area a seguito dell'intervento di riqualificazione. Sono evidenziate inoltre forti modifiche nella distribuzione spaziale dei pedoni nell'area di studio.

La *Figura 3.1A* mostra gli schemi di utilizzo pedonale di via Procaccini nella fase che precede l'intervento di riqualificazione dell'area. Si evidenziano due principali corridoi di passaggio in corrispondenza dei due marciapiedi di Via Procaccini, e un'area di sosta in corrispondenza del marciapiede tra via di Vincenzo e Via Procaccini. Si notano inoltre tre corridoi di attraversamento complementari alle strisce pedonali tra Via Procaccini e Via Di Vincenzo, che corrispondono al prolungamento dei marciapiedi (1, 2) e all'asse visivo diagonale dell'area (3).

La *Figura 3.1B* rappresenta le nuove dinamiche pedonali originate a seguito dell'intervento di riqualificazione della Piazza Scolastica. Si nota un incremento generale nel tempo di permanenza (+43%) ed uno spostamento del luogo privilegiato di sosta e gioco, che si identifica ora nella Piazza Scolastica.

I corridoi naturali di attraversamento (1, 2 in *Figura 3.1A*), integrati nel disegno di riqualificazione, si attivano nuovamente; ne emergono inoltre di nuovi (1, 2, 3 in *Figura 3.1B*). In particolare, 1, 2 sono legati al posizionamento delle sedute nella Piazza Scolastica, che bloccano l'asse diagonale dell'area, allungando l'attraversamento diagonale (1) e favorendo fenomeni di passaggio adiacenti alla piazza sul lato della carreggiata (2). Infine, l'area di attraversamento in corrispondenza delle strisce pedonali tra Via Procaccini e Via Di Vincenzo (3) si allarga, includendo i flussi diagonali di raccordo tra piazza e scuola.

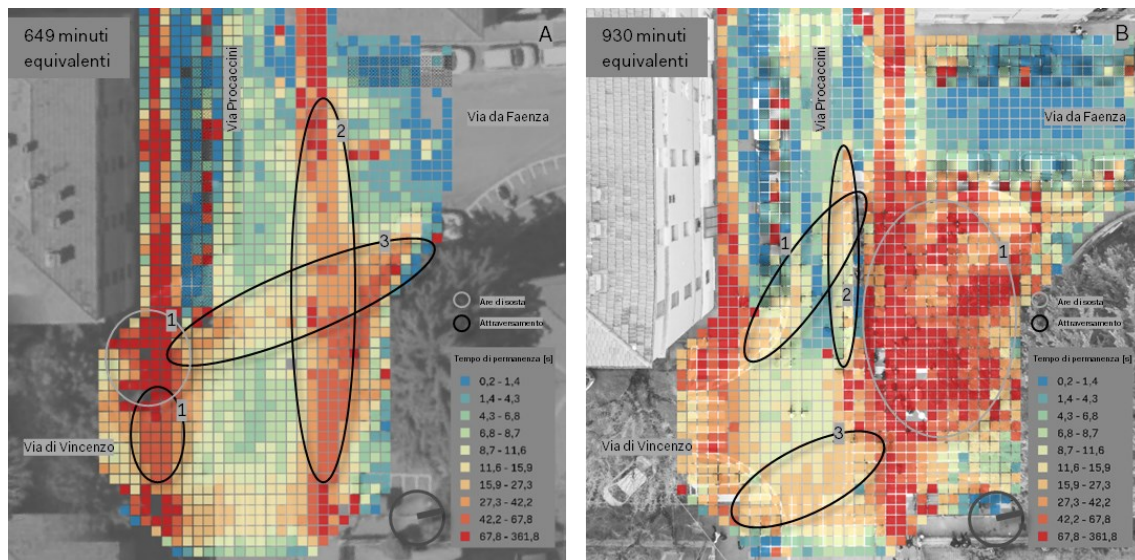


Figura 3.1 Area di studio, tempo di permanenza [min] pre/ post-intervento

L'analisi delle velocità medie si pone invece l'obiettivo di caratterizzare i nuovi modi d'uso dello spazio pubblico. La *Figura 3.2 (A e B)* presenta le velocità pedonali medie registrate nell'area di studio nelle fasi precedenti e successive all'intervento. In generale, si nota un calo delle velocità in tutta l'area, con una forte decrescita nella nuova Piazza Scolastica. Si registrano inoltre velocità superiori nelle aree corrispondenti alla carreggiata in entrambe le fasi dello studio.

Si evidenzia infine nella *Figura 3.2B* un aumento della velocità media in corrispondenza dell'attraversamento pedonale tra via Procaccini e Via da Faenza, seguito da una decrescita in corrispondenza del marciapiede di via Procaccini.

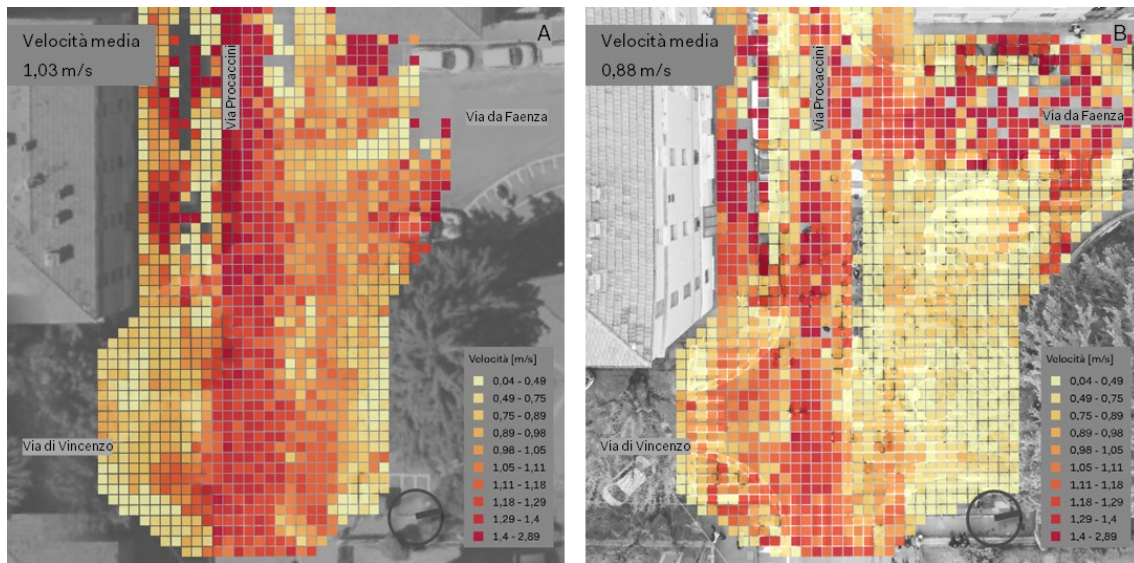


Figura 3.2 Area di studio, velocità [m/s] media pre/ post-intervento

3.3 UTILIZZO DELLO SPAZIO – AREE DI INTERVENTO

3.3.1 Carreggiata

La Figura 3.3 (A e B) presenta la distribuzione delle dinamiche pedonali osservate nella carreggiata relativa alle fasi di pre e post-intervento di riqualificazione, sottolineando ulteriormente il cambiamento nei modi d'uso relativi agli attraversamenti. Nello specifico, il tempo di permanenza medio sulla carreggiata scende del 20%. Inoltre, il tempo di permanenza massimo nell'area della carreggiata, circa 2,28 minuti equivalenti, risulta inferiore del 165% rispetto al tempo massimo in corrispondenza della Piazza Scolastica pre/ post-intervento.

Il cambiamento di scala porta inoltre alla luce la gerarchia degli attraversamenti, regolari e irregolari, classificati secondo i loro tempi di permanenza cumulato, in ordine: attraversamenti 1, 2, 3 in Figura 3.3A e Figura 3.3B. Si evidenzia poi un fenomeno di frammentazione delle aree di attraversamento nell'area. Il posizionamento di oggetti che impediscono attraversamenti secondo gli assi naturali della piazza, bloccandone la vista generale, ha determinato infatti la necessità di aggirare gli oggetti stessi.

In particolare, l'attraversamento 3 in Figura 3.3B presenta un'area di pertinenza più ampia e irregolare a seguito dell'intervento. Si notano inoltre gli attraversamenti 4 e 5 in Figura 3.3B, che rappresentano i principali corridoi di attraversamento irregolare (i.e., *jaywalking*) dell'area di studio a seguito dell'intervento di riqualificazione urbana.

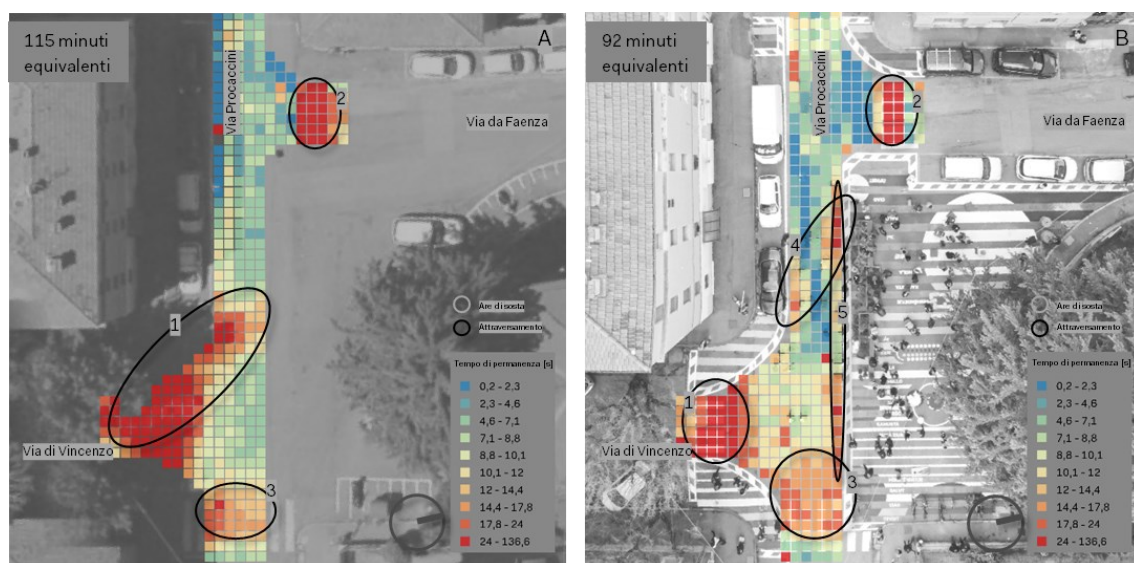


Figura 3.3 Carreggiata, tempo di permanenza [min] pre/ post-intervento

La Figura 3.4 presenta le velocità medie pedonali nell'area della carreggiata prima e dopo l'intervento di riqualificazione. Si nota una decrescita delle velocità pedonali medie (-7,5%) nell'area della carreggiata, ciò sottolinea una tendenza ad un uso più sicuro dell'area. Non emergono però particolari schemi spaziali relativi alle velocità medie sulla carreggiata.

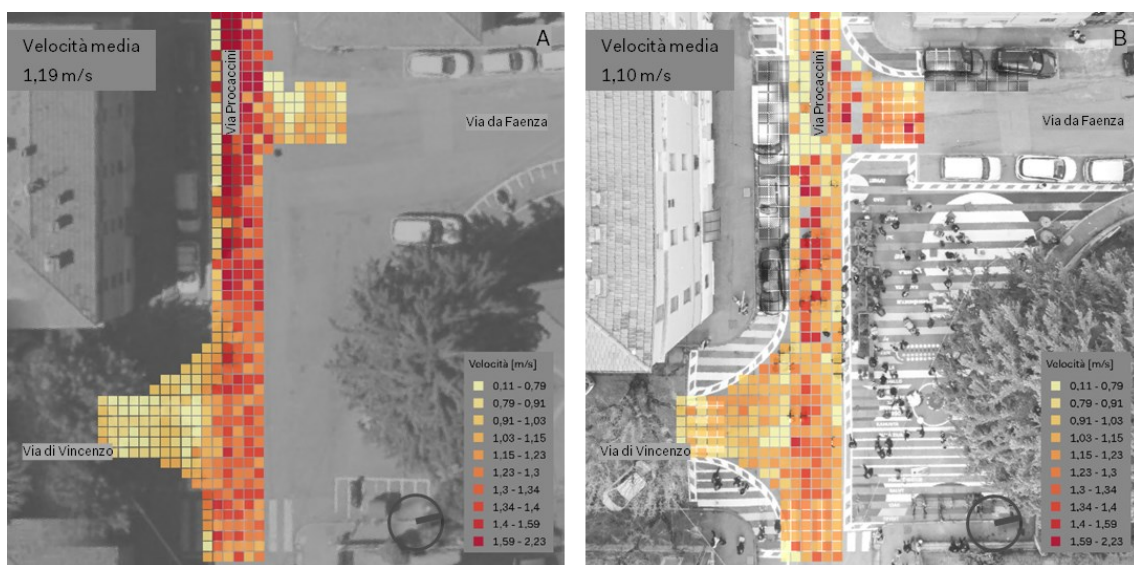


Figura 3.4 Carreggiata, velocità media [m/s] pre/ post-intervento

3.3.2 Piazza Scolastica

La *Figura 3.5* mostra le configurazioni spaziali della Piazza Scolastica a seguito dell'intervento di urbanistica tattica. Il tempo di permanenza cumulato dell'area, trasformata da area di attraversamento ad area di sosta e gioco, aumenta di +216%. Si nota inoltre (*Figura 3.5B*) che i corridoi di attraversamento dell'area, utilizzati prima dell'intervento, rimangono attivi; emergono però nuove caratteristiche d'uso relative agli arredi (i.e., 1, 2 giochi; 3, 4 sedute; 5, 6 panchine), che presentano i tempi di permanenza cumulato più rilevanti nell'area.

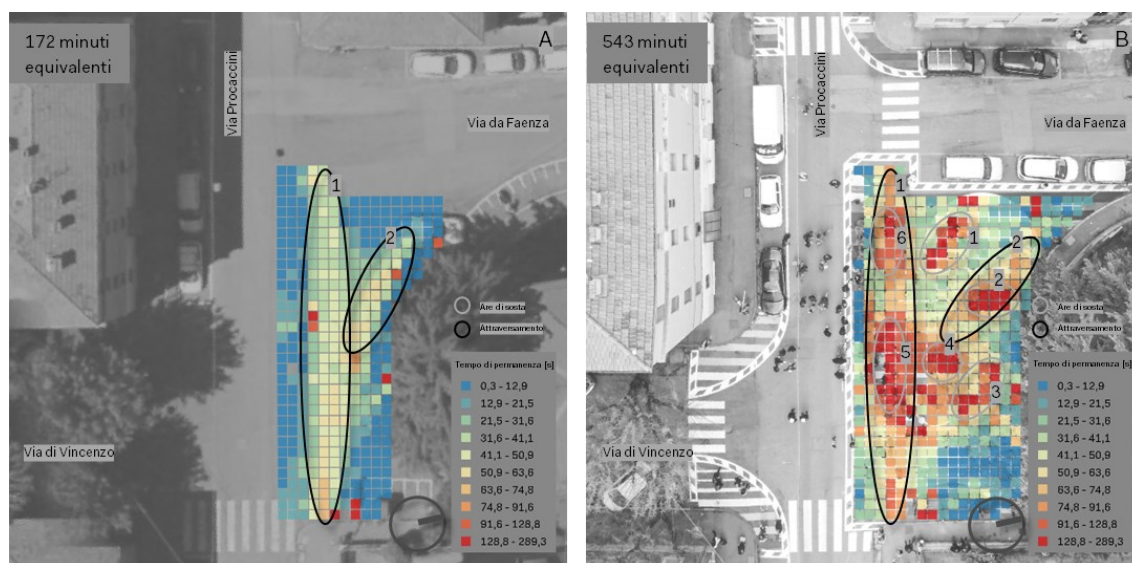


Figura 3.5 Piazza Scolastica, tempo di permanenza [min] pre/ post-intervento

Nello specifico, la *Tabella 3.1* elenca le metriche riassuntive che descrivono l'utilizzo dei tre tipi di arredo in relazione all'uso globale della Piazza Scolastica post-intervento. Le sedute presentano l'incremento maggiore del tempo di permanenza medio rispetto alla Piazza Scolastica (+100%), seguite dalle panchine (+82%) e dai giochi (+79%).

Tabella 3.1 Piazza Scolastica – arredi, post-intervento

AREA	MINUTI EQUIVALENTI CUMULATI [MIN]	N CELLE	MINUTI EQUIVALENTI MEDI [MIN]	DELTA ARREDI/PIAZZA [%]
Piazza	543	520	1,04	-
Giochi	58	31	1,86	+79%
Sedute	36	17	2,09	+100%
Panchine	42	22	1,89	+82%

Il *Grafico 3.4* mostra il delta di utilizzo degli arredi rispetto allo spazio globale della Piazza Scolastica nelle tre fasce orarie di analisi. Si nota una forte crescita percentuale di utilizzo degli arredi nei giorni feriali, in cui panchine e sedute presentano le variazioni più rilevanti in particolare nella fascia pomeridiana (panchine +203%, sedute +195%, giochi +163%). Nei giorni festivi emerge invece un andamento inverso nella fascia mattutina, in cui prevale un utilizzo dell'area legato a necessità di attraversamento. Nelle fasce diurne e pomeridiane emergono forti delta positivi per panchine (13-15 +176%, 17-19 +64%) e giochi (13-15 +116%, 17-19 +37%).

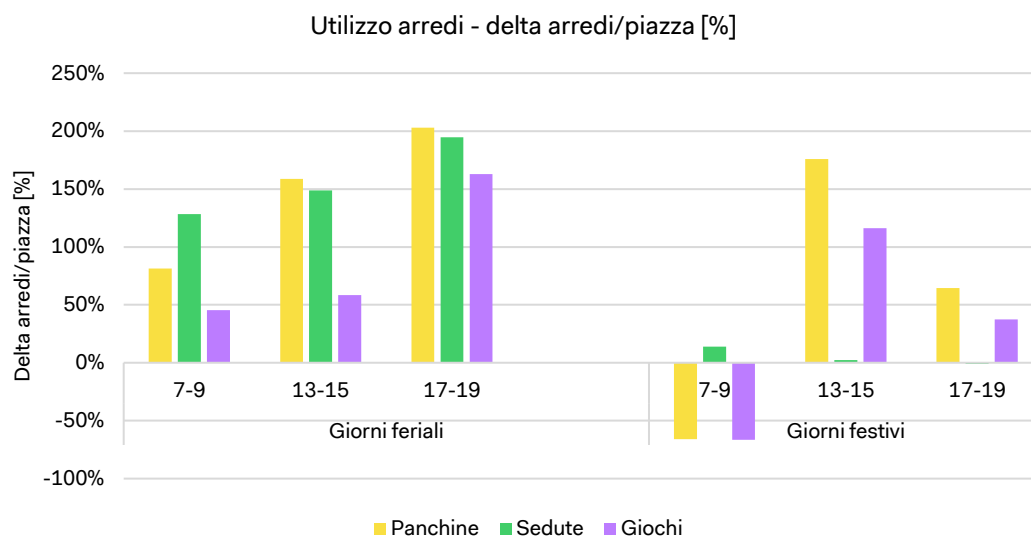


Grafico 3.4 Piazza Scolastica – arredi, delta [%] tempo di permanenza arredi/piazza post-intervento

Infine, la *Figura 3.7* presenta le caratteristiche spaziali legate alle velocità medie nella Piazza Scolastica. Questa presenta un abbassamento importante delle velocità medie (-42%), legate alle nuove funzioni di gioco e sosta al suo interno. Si evidenziano quattro corridoi di attraversamento nell'area, complementari alle aree di gioco identificate nell'analisi degli arredi, in cui le velocità medie presentano valori superiori a 0,82 m/s.

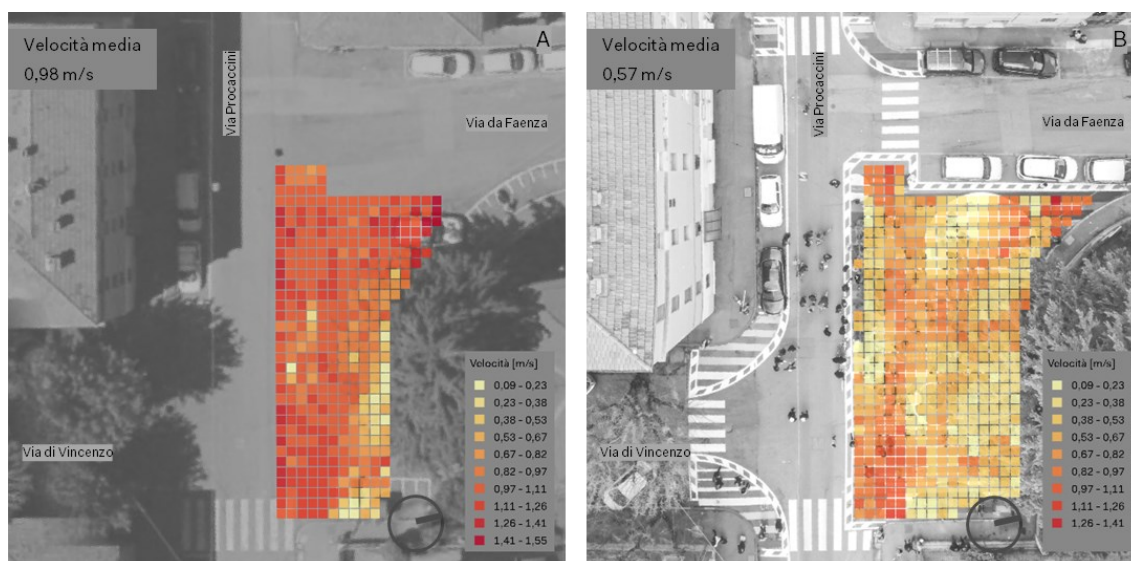


Figura 3.6 Piazza Scolastica, velocità media [m/s] pre/ post-intervento

3.4 UTILIZZO DELLO SPAZIO – DIFFERENZE PRE/ POST-INTERVENTO

La differenza di utilizzo dello spazio prima e dopo l'intervento di urbanistica tattica è stata quantificata al fine di localizzare le zone dell'area in cui gli usi sono cambiati maggiormente. I risultati sono presentati nella Figura 3.8.

Si può notare un delta positivo nell'area della Piazza Scolastica, in cui la nuova destinazione d'uso ha determinato forti cambiamenti nei modi di fruizione dello spazio. Nell'area emerge solo una zona (delta negativo, 1) in cui si evidenzia un lieve calo del tempo di permanenza cumulato, questa peculiarità può essere determinata da una tendenza di utilizzo delle aree esterne alla Piazza per l'attraversamento da e verso via da Faenza. Si evidenzia inoltre come l'area del marciapiede tra via di Vincenzo e via Procaccini (delta negativo, 2) presenti un forte calo del tempo di permanenza cumulato, dovuto alla creazione della nuova Piazza Scolastica.

Infine, si sottolineano nuovi comportamenti di attraversamento della carreggiata (delta positivo, 2, 3) espressi con un delta leggermente positivo nell'area che circonda le panchine della Piazza Scolastica.



Figura 3.7 Delta [s] – tempo di permanenza pre/ post-intervento

4 Conclusioni

I dati raccolti in questo progetto e l'analisi dei risultati, riportata nel capitolo precedente, hanno permesso di quantificare l'efficacia dell'intervento di rigenerazione urbana messo in atto in Via Procaccini. L'utilizzo di dati come supporto alla progettazione è la base del data-driven design, in questo caso declinato attraverso il monitoraggio della situazione pre e post-intervento.

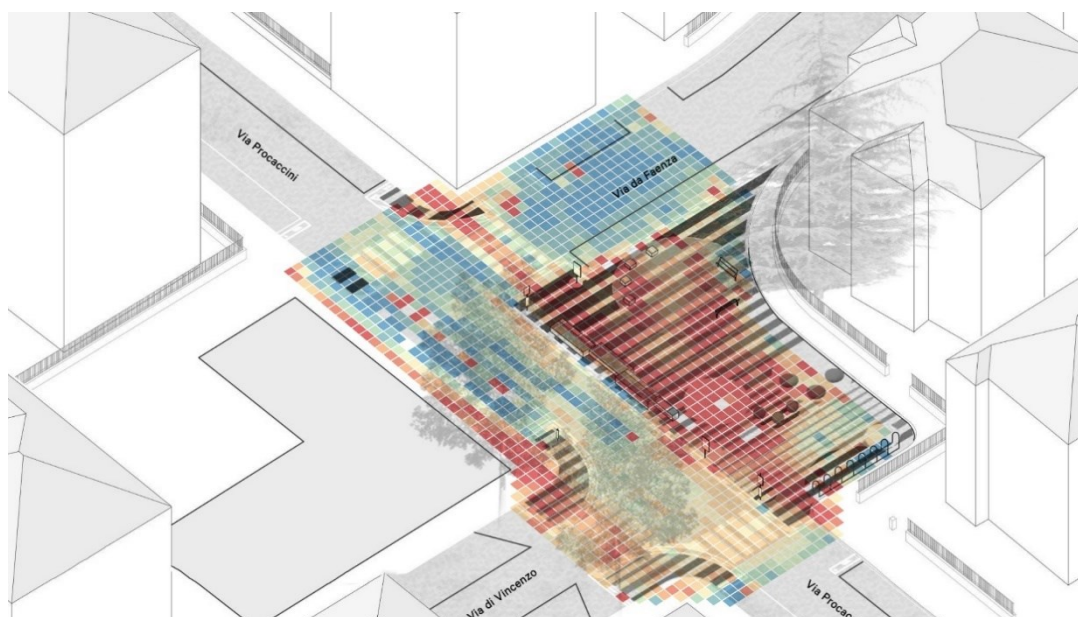


Figura 4.1 Visualizzazione assonometrica del tempo di permanenza pedonale cumulato

Come è possibile vedere nella *Figura 4.1*, l'utilizzo dello spazio è in diretta relazione con la forma e le funzioni presenti. Le analisi precedenti, infatti, hanno messo in luce il delta tra pre e post-intervento e, in particolar modo, il ruolo che gli arredi giocano nell'influencare il tempo di permanenza. Analizzando le mappe, è possibile identificare gli elementi di successo e di criticità di questo particolare intervento ed è possibile utilizzare queste osservazioni per informare le successive fasi di progetto.

Come si può vedere nella *Figura 4.2*, nel caso del tempo di permanenza cumulato, che misura l'utilizzo più o meno intenso delle diverse aree della Piazza Scolastica, è possibile notare come i flussi e l'infrastruttura non sempre coincidano. Le strisce pedonali trasversali a Via Procaccini non vengono percepite come l'unico luogo possibile di attraversamento della via. In particolare, le strisce all'altezza di Via di Vincenzo sono utilizzate solo in parte dai pedoni che attraversano la strada; gran parte dei pedoni utilizza lo spazio in diretta connessione con la mezzera della via, tagliando diagonalmente la carreggiata. Parallelamente, le strisce all'altezza di Via da Faenza non vengono utilizzate particolarmente perché il momento dell'attraversamento viene anticipato o posticipato all'altezza della Piazza Scolastica. Al contrario, gli attraversamenti paralleli a Via Procaccini vengono utilizzati da gran parte degli utenti, così come il marciapiede opposto alla piazza, che riesce a incanalare efficacemente i flussi.

Oltre agli attraversamenti all'esterno delle strisce, è possibile identificare anche un flusso parallelo alla Piazza, esterno alle fioriere, che ricalca la direzione prevalente degli spostamenti dello slargo. Questo percorso alternativo avviene all'interno della carreggiata e spesso in senso opposto alla marcia, rimanendo esterno agli arredi invalicabili dello spazio pedonalizzato.

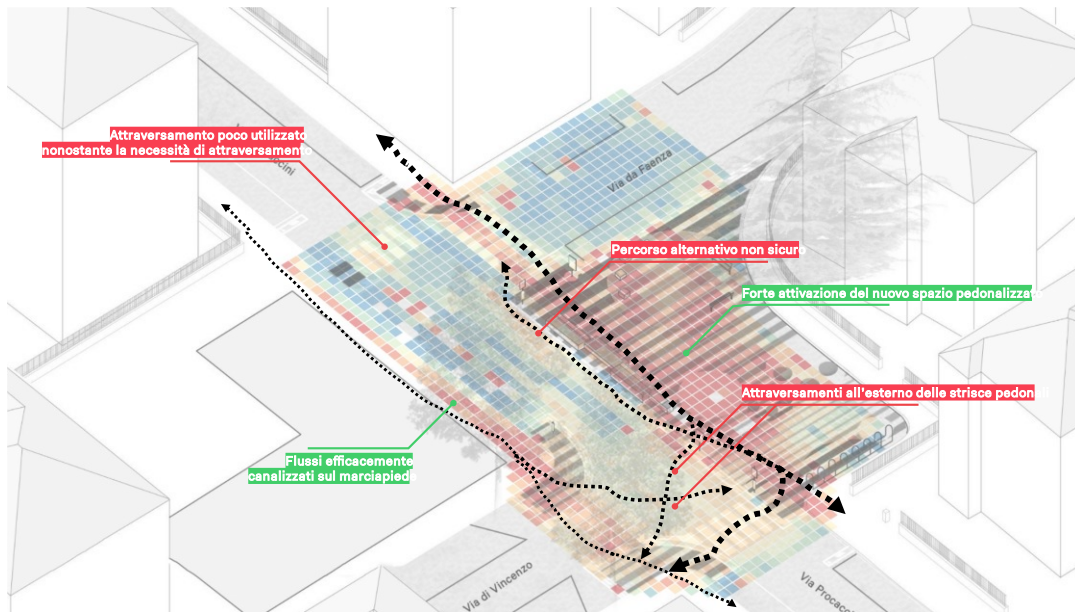


Figura 4.2 Analisi dei risultati relativi all'utilizzo pedonale dell'intervento

L'analisi delle risultanze dei flussi veicolari, visibili in *Figura 4.3* sotto forma di velocità medie, mostra come in prossimità delle svolte con successivo attraversamento ci sia una decisa riduzione delle velocità (velocità media in svolta 9,4 km/h). Questo fattore contribuisce alla sicurezza dei pedoni che utilizzano le strisce pedonali. D'altro canto, è possibile notare come il punto con le velocità maggiori sia all'altezza delle vasche/ panchine della piazza (velocità media 19,5 km/h), nonostante la strada sia di fatto utilizzata anche dai pedoni. Si ipotizza che la presenza della barriera fa sì che la strada venga percepita come non attraversabile e quindi suggerisca velocità leggermente maggiori per chi è alla guida.

In ultimo, è possibile notare come Via Procaccini angolo con Via di Vincenzo sia caratterizzata da una velocità inferiore anche nel tratto successivo alla svolta. Questo fenomeno suggerisce un utilizzo della carreggiata come punto di drop-off in relazione alla scuola, fenomeno che attualmente avviene all'interno della carreggiata, ostacolando il traffico veicolare e diminuendo la sicurezza degli utenti deboli dell'intervento.

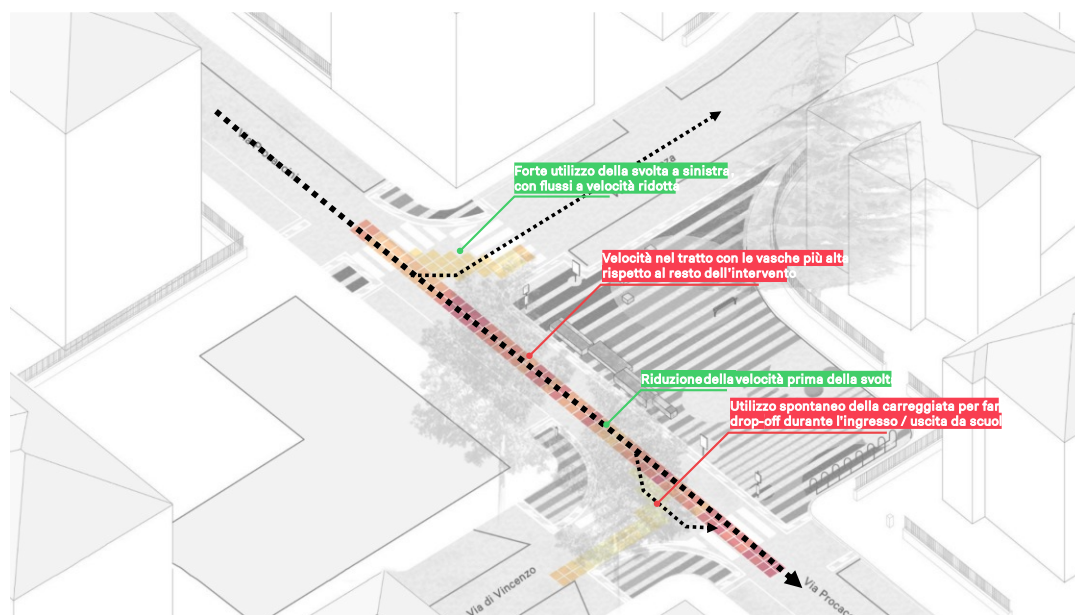


Figura 4.3 Analisi dei risultati relativi all'infrastruttura stradale

Gli elementi di successo e di criticità evidenziati nella *Figura 4.2* e nella *Figura 4.3* contengono informazioni estremamente utili ad un'eventuale fase progettuale successiva. Il passaggio da un approccio quantitativo, basato sull'analisi dei dati raccolti, e un approccio sintetico/ progettuale è alla base del data-driven design: l'obiettivo è quello di massimizzare l'effetto degli interventi positivi e risolvere le criticità rilevate. L'approccio ideale a questo tipo di progettazione è la costruzione di un processo iterativo, che quantifica ogni intervento separatamente e la cui parte progettuale è ripetuta dopo ogni fase di monitoraggio, creando un circolo continuo di ipotesi e di soluzioni.

5 Note

I dati analizzati sono stati trattati in conformità al GDPR-General Data Protection Regulation (EU, 2016/679). Questa ricerca non ha ricevuto alcuna sovvenzione specifica da parte di agenzie di finanziamento del settore pubblico, commerciale o no-profit.

Systematica Srl e Fondazione Transform Transport ETS ringraziano Fondazione Innovazione Urbana e il Comune di Bologna per la collaborazione durante le fasi di raccolta e analisi dei dati presentati nello studio "Monitoraggio dei Flussi Pedonali e Veicolari per la Valutazione di Interventi di Rigenerazione Urbana – Piazza Scolastica di Via Procaccini (Bologna)".

6 Bibliografia

- Abdelfattah, L., Boni, G., Carnevalini, G., Choubassi, R., Gorrini, A., Messa, F., Presicce, D. (2021). A user-centric approach to the 15-minute city. Examining children's walkability in Bologna. In: *Proceedings of the 57th ISOCARP World Planning Congress 2021*, 8-11 November 2021, Doha (Qatar), pp. 582-592. Available at: <https://doha2021.dryfta.com/programme/discussions/sponsor-lounge/proceedings>
- Abley, S., Hill, E. (2005). *Designing living streets-a guide to creating lively, walkable neighbourhoods*. Living Streets.
- Aerts, J. (2018). *Shaping urbanization for children: A handbook on child responsive urban planning*. UNICEF. Available at: https://www.unicef.org/media/47616/file/UNICEF_Shaping_urbanization_for_children_handbook_2018.pdf
- Annunziata, A., Garau, C. (2020). A literature review on walkability and its theoretical framework. emerging perspectives for research developments. In: *International Conference on Computational Science and Its Applications*, Springer. pp. 422-437. https://doi.org/10.1007/978-3-030-58820-5_32
- Barthélemy, J., Verstaavel, N., Forehead, H., & Perez, P. (2019). Edge-Computing Video Analytics for Real-Time Traffic Monitoring in a Smart City. *Sensors*, 19(9), 2048. <https://doi.org/10.3390/s19092048>
- Buhrmann, S., Wefering, F., Rupprecht, S. (2019). *Guidelines for Developing and implementing a sustainable urban mobility plan – 2nd edition*. Rupprecht Consult-Forschung und Beratung GmbH. Available at: <https://www.eltis.org/mobility-plans/sump-guidelines>
- City of Montreal (2021). *Annotated images taken from the video stream of traffic cameras*. Information Technology Department. Available at: <https://donnees.montreal.ca/ville-de-montreal/images-annotees-cameras-circulation>
- Danenberg, R., Doumpa, V., Karssenbergh, H. (2018). *The City at Eye Level*. STIPO Publishing. Available at: https://thecityateyelevel.com/app/uploads/2019/06/eBook_CAEL_Kids_Book_Design_Kidsgecomprimeerd.pdf
- European Platform on Sustainable Urban Mobility Plans (2020). *COVID-19 SUMP Practitioner Briefing*. CIVITAS SATELLITE CSA. Available at: https://www.eltis.org/sites/default/files/covid-19_sumppractitionersbriefing_final.pdf
- Gehl, J. (2013). *Cities for people*. Island press.

- Gorrini, A., Presicce, D., Messa, F., Choubassi, R. (2022, *submitted*). Walkability for Children in Bologna: Beyond the 15-minute City Framework. *Journal of Urban Mobility*.
- Gutta, S. (2021). Object Detection Algorithm — YOLO v5 Architecture. Medium. Available at: <https://medium.com/analytics-vidhya/object-detection-algorithm-yolo-v5-architecture-89e0a35472ef>
- Ibrahim, M. R., Haworth, J., & Cheng, T. (2020). Understanding cities with machine eyes: A review of deep computer vision in urban analytics. *Cities*, 96, 102481. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2019.102481>
- Jocher, G., Chaurasia, A., Stoken, A., et al. (2021). ultralytics/yolov5: v5.0 – YOLOv5-P6 1280 models, AWS, Supervise.ly and YouTube integrations (v5.0). Zenodo. <https://doi.org/10.5281/zenodo.4679653>
- Krysiak, N. (2020). *Designing Child-Friendly High Density Neighbourhoods. Transforming our cities for the health, wellbeing and happiness of children*. Cities For Play. Available at: https://www.citiesforplay.com/_files/ugd/534edb_5e8553bb853d40228da3083a0ed1eede.pdf
- Moreno, C., Allam, Z., Chabaud, D., Gall, C., Pratlong, F. (2021). Introducing the “15-Minute City”: Sustainability, Resilience and Place Identity in Future Post-Pandemic Cities. *Smart Cities*, 4, 93–111. <https://doi.org/10.3390/smartcities40100066>
- Peyton, A. (2019). *Designing Streets for Kids*. NACTO-Global Designing Cities Initiative. Available at: <https://globaldesigningcities.org/publication/designing-streets-for-kids/>
- Speck, J. (2013). *Walkable city: How downtown can save America, one step at a time*. Macmillan.
- Steinfeld, E. (2011). *Universal Design Handbook - Second Edition*. McGraw-Hill Publishers.
- United Nations (2016). *Transforming Our World: The 2030 Agenda for Sustainable Development*. United Nations. Available at: <https://sustainabledevelopment.un.org/post2015/transformingourworld/publication>
- Zhao, Z., Zheng, P., Xu, S., & Wu, X. (2019). Object Detection with Deep Learning: A Review. *IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems*, 30, 3212–3232. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1807.05511>

