

# CROWDSOURCED DIGITAL SYSTEMS FOR SUSTAINABLE MOBILITY: NAVIGATION, DATA-GATHERING AND PLANNING

## Abstract

In the last twenty years urban policies have been moving towards sustainable mobility models, in which cycling is one of the focal points. However, many areas of the Mediterranean basin suffer from infrastructural delays and the lack of data and tools for cycling mobility makes it challenging to reduce this gap. In this paper we present a web application that aims to support cycling mobility in two ways: on the one hand it provides a cycling navigator by calculating safe routes on a suboptimal road network, on the other it anonymously collects crowdsourced data and provides a tool to help in the development of cost-effective actions to improve the infrastructure. The pilot project, implemented for the city of Milan, has been used to calculate more than half a million routes, building a cycling mobility model that can be used for infrastructure analysis, impact assessment and infrastructure planning to help improve that state of the cycling network and thus the sustainability of the city.

**Keywords:** *Cycling, crowdsourcing, digital tools, active mobility, urban planning*

## Introduction

The benefits associated with increased active mobility in an urban context are well documented. From an environmental point of view, walking and cycling have virtually no impact on the environment, and reduce urban traffic and greenhouse gas emissions [1], [2]. From a public health perspective, they are negatively correlated with mortality, cancer, and provide benefits for the cardio-respiratory system even under moderate activity [3] and constitute the preferred alternative to public transport commuting during a pandemic. From the economic point of view, they require limited space and are inexpensive both for users and with respect to infrastructures. In other words, they are "environmentally, socially and economically sustainable" [4].

Over the past twenty years, the benefits of active mobility have also been recognized in the context of policies for urban sustainability. On a global level, Agenda 2030 [5] identifies "Sustainable Cities and Communities" as one of the 17 Sustainable Development Goals (SDGs) to be achieved by 2030, explicitly expressing the objective of providing "access to safe, affordable, accessible and sustainable transport systems for all, improving road safety" (p. 21). The first Global Sustainable Development Report [6], highlights the role of active mobility (cycling and walking) in "decarbonizing the transport and energy sectors" (p. 27), "to promote sustainable consumption and production patterns" (p. 28),

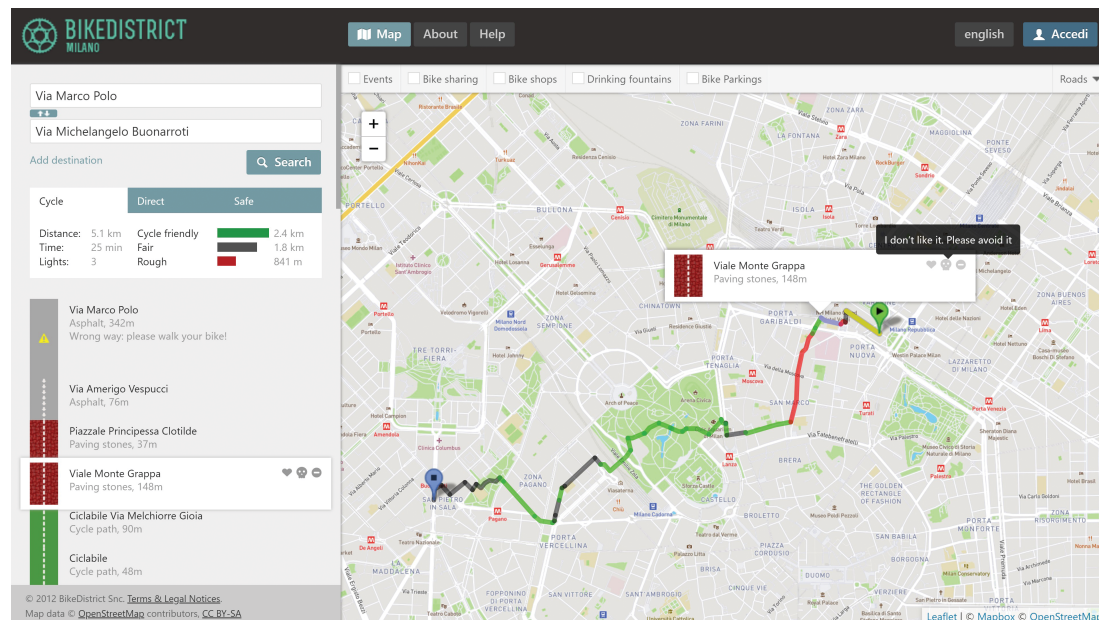


Fig. 1 - The laptop interface allows to navigate on a map and shows a representation of the road quality in the sidebar. By highlighting a road segment, it is possible to express an evaluation, which will influence the definition of current and future routes.

and in "decoupling urban growth from increased environmental degradation" (p. 125), and more generally it highlights the fundamental importance of moving towards "public transport, mixed-mode and active mobility" to achieve the sustainability objectives of Agenda 2030 and the Paris Climate Agreement (p. 110). In the European context, a series of initiatives have been implemented to promote the transition towards sustainable and active forms of mobility: with the *Green Paper on Urban Mobility* [7], the *Action Plan on Urban Mobility* [8] and the *Transport White Paper on Sustainable Mobility* [9] the EU has defined a plan to promote sustainable mobility in urban areas, which was later formalized by the introduction of the *Sustainable Urban Mobility Plans* that further emphasize the role of cycling and pedestrian transport [10]. Through such policies and growing environmental awareness, the last twenty years have seen significant improvements in terms of sustainable urban mobility. Alongside a decrease in the use of motor vehicles, cycling and active mobility have increased, in particular among cities without a cycling culture [4, p. 691]. Similarly, Bike Sharing services have gone from the very first experiment to more than 2500 active systems in 10 years [11] and the use of e-bikes has grown more than a 100-fold in 15 years [12]. Even from the point of view of public funding, investments in terms of cycling facilities and infrastructures follow the same positive trend, especially given the unprecedented development of cycling infrastructure triggered by the Covid19

the epidemic emergency, that has led to the creation of 2.300km of new bike lanes, and the investment of more than 1.1 billion euros on cycling-related infrastructure in the first six months of the epidemic. However, the state of infrastructural development in the European context is very heterogeneous. Notably, not only are infrastructures much less extensive in the Mediterranean context as compared to Northern European countries, but this situation gives rise to a vicious circle: inadequate infrastructures result in difficulties with the adoption of cycling as a primary mode of transport and in delays with the development of a cycling culture, which in turn result in limited investment in cycling by public administrations. Adequate infrastructure provision is crucial not only because of its intrinsic value, but also because risk perception is one of the most influential factors in encouraging cycling [13, p. 370]. Under these circumstances, while the installation of protected infrastructures and the slowing down of traffic in residential areas are among the most effective initiatives to increase cycle traffic [4], [14], such infrastructural interventions are often problematic. Although there is evidence that "cost-benefit analyses of cycling and walking infrastructure generally produce positive benefit-cost ratios" due to the health benefits and the impact in terms of environmental and social sustainability [15], nevertheless the cost and complexity of such actions make them difficult to implement in contexts without a pre-existing cycling culture.

## Methodology

In this paper we present a design-driven approach aimed at fostering cycling in contexts with uneven degrees of infrastructure development, where infrastructures are inadequate, fragmented or insufficient to ensure an adequate safety perception. Methodologically, the project aims to experimentally verify the potential of a web application (for desktop and mobile devices) that comprises both a useful tool for the urban cycling mobility and simultaneously harnessing the data generated by users and by the infrastructural model in order to perform analyses on the state of the infrastructure and potential intervention scenarios. The goal is to act on two different fronts in order to promote the diffusion of cycling, on the one hand mitigating the factors that oppose a wider adoption of cycling as a means of transport, and on the other hand collecting data necessary for a more efficient use of resources in infrastructural planning. Regarding the first objective, the application acts as a bike navigator: it calculates routes that maximize the use of safe pathways and cycle paths, avoiding dangerous itineraries, rough roads and high traffic areas. The purpose is to allow for a safer experience and to warn of any critical situations, lowering uncertainty about the route, the type of infrastructure and the level of comfort to be expected, thus addressing some of the main factors that hinder cycling adoption [16, p. 26]. In terms of medium-term strategy, the goal is to encourage the adoption of cycling in non-optimal contexts, triggering a virtuous circle that sees an increase in safety as the number of cyclists increases [17, p. 850]. With regard to the second objective, the project aims to provide an analytical tool that supports public administrations in making an efficient use of the funds dedicated to infrastructural work. This objective is to be seen in a context where data availability is widely acknowledged to be crucial: the more data is up-to-date, reliable and detailed, the more it is possible to measure, document and analyze the current context in order to define strategies, build infrastructures, and take action according to current evidence and future needs [18].

Despite this urgency, current surveying strategies for urban cycling are characterized by high costs and significant implementation difficulties. While surveys and automated counting stations provide important data, they are often inadequate for the understanding of urban travel patterns as they lack spatial detail and temporal coverage [19, p. 90]. Similarly, as far as infrastructure is concerned, municipal data often neglects to cover many of the parameters needed to assess the safety or comfort of light mobility.

To experiment such an approach, a web application has been designed consisting of three main parts:

- 1) A *client* component developed with web technologies (HTML, JS, CSS) that handles user interface, mapping and user interactions. It allows to display and interact with the calculated route, both geographically and linearly, through the use of the sidebar. It handles route type selection and the display of information on the map, such as drinking fountains, and bike parkings.
  - 2) A *server* component developed in Python that handles user data and querying. It manages user registration and authentication, allows communication with the client through a custom REST API that translates and submits user queries to the database.
  - 3) A PostGIS *geographic database* along with a *routing engine* implemented through pgRouting that handles geographic data and route calculations, merging user preferences and data from the road graph.
- The application is freely available and allows the user to perform navigation tasks between a place of origin and a place of destination (with potential intermediate stops), which can be defined either by address, by name, or by using the current location. Once the stops have been defined, the user can choose between three route types (safe, short, balanced) and optionally customize the proposed route by evaluating the individual road sections. These evaluations, which help in refining the route, also contribute to the refinement of the mobility model and to provide in-depth information on the road network.

The application does not in any way limit the functionalities accessible to non-registered users, however it is possible to sign up via e-mail or social media in order to keep one's preferences and personalization.

## Data model

From the data standpoint, the application is based on two computational models: a model of the road network and cycling infrastructure, and a model of cycling behaviors, designed to emulate the decisions made by cyclists when navigating through the city. The road network model, built on data collected by OpenStreetMap and integrated through user suggestions and evaluations, describes the road network and cycling infrastructure through a graph whose links represent the road segments. Each segment is classified using over ten parameters that describe different aspects of route comfort from the point of view of cycling, such as road type (e.g. pedestrian, secondary, traffic restrictions), traffic interactions (e.g. high traffic), infrastructure quality (e.g. road surface), and road restrictions (e.g. wrong way, steps). The cycling behavior is then represented by a routing algorithm which, based on the characteristics of the road segments, minimizes the "transport cost" applying different weights to the different parameters in order to simulate with good approximation the route choices of cautious, intermediate, or daring cyclists. By integrating these models with the data collected from application use, the project contributes to the definition of an urban cycling model on three main levels. Through the description of the urban road network and infrastructure related to cycling, the system aims to describe the city from the point of view of active mobility, identifying the different types of infrastructure, road coverage and geometry characteristics, potential interactions with other vehicles (cars, public transport) and other elements that may constitute elements of risk or danger for the cyclist. Through the (anonymous) collection of user queries, the application records the demand for urban mobility, in terms of origins and destinations, timetables, and route preferences.



Fig. 2 - Map of the road hierarchy (left) and map of the cumulative routes (right). Note the difference in perspective on infrastructure and urban mobility



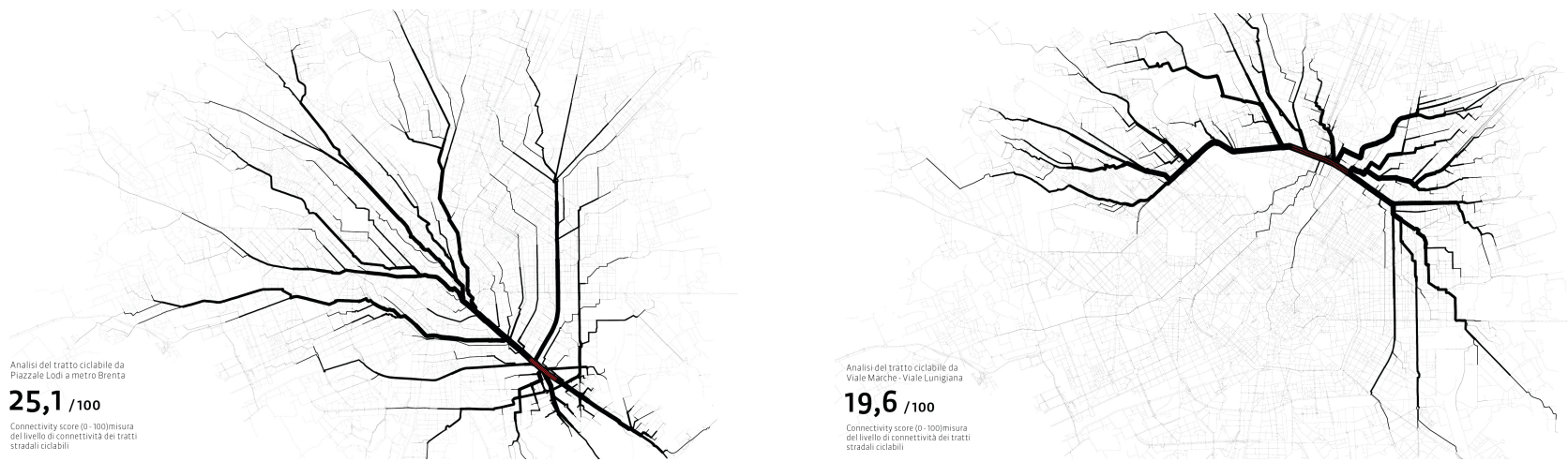


Fig. 3 - Impact assessments on infrastructural interventions. Estimate of the impact on the urban network and of the catchment areas affected by the intervention

Finally, through the reporting of route corrections (roads to avoid, or to prefer), the application records possible inconsistencies between the infrastructure description and the end-user's perception in terms of safety and comfort, potentially allowing for adjustments to the routing model or to the road network. Such data, despite being collected from voluntary user contributions (crowdsourcing) and therefore not as reliable as data collected through controlled processes, is nevertheless useful to understand user behavior, monitor and identify opportunities for intervention and to assess the impact of infrastructure interventions [20, p. 21], and can be considered broadly representative of general behavior even in cases where the percentage of users contributing may be limited [19].

#### Results: a cycling model for urban mobility

The project, as presented, has been implemented in the form of a pilot project for the city of Milan starting from 2012, registering an excellent response from the community and the institutions. That same implementation, although not actively maintained, is currently still online and registers a steady number of user visits and contributions. In this Milanese deployment, the road and bicycle infrastructure network consists of more than 25,000 road segments and more than 4,000 points of interest including museums,

theatres, cinemas and other businesses. During the pilot, the project computed and recorded an average of 40,000 routes per month, on desktop and mobile devices. The rated road segments were about 12,000, with about 4,000 roads marked as "to avoid at all costs", 3,300 roads marked as "to prefer", and 4,800 roads marked as "to avoid if possible". About 650 users decided to register to keep track of the adjustments.

The success of the project, besides validating the usefulness of the tool for the community, made it possible to develop a cycling-oriented urban model to support active mobility analyses. The previously described models, based on crowdsourced data, allowed to compile a detailed and updated description of the cycling city, to carry out analyses on the current state of the cycling infrastructure and on the mobility demand, and allowed to build predictive and analytical models for potential action on the urban mobility grid. Specifically, in terms of infrastructure, the project has made it possible to interpret the city from a cycling perspective, to identify dangerous areas due to lack of adequate infrastructure, to estimate the impact of infrastructure interventions.

In terms of mobility, the models provided the possibility to obtain information on the demand for cycling mobility (Fig. 1) as well as on movement dynamics such as flow estimates,

identification of poorly connected areas and multimodal transport analysis.

In terms of infrastructural interventions, cycling models have proved able to provide impact assessments in terms of connectivity and affected catchment areas (Fig. 2). Finally, at the planning level, the system has made it possible to carry out useful analyses aimed at identifying connections that offer the best potential for cycling connectivity and which may be worth upgrading to cycle-pedestrian paths (Fig. 3), or road segments on which urgent action is required to ensure the safety of cyclists through the introduction of protected paths, carriageway reductions or other traffic calming initiatives.

#### Discussion

While the pilot can be considered a success, it also highlighted a number of issues with the development of such applications:

- Although OpenStreetMap data is constantly improving, such data is more suitable for cartographic applications than for mobility analysis, often requiring *ad hoc* corrections.
- Differences in infrastructures make the development of a mobility model suitable for the whole European context rather challenging.
- Depending on the context of use, time-sensitive information (e.g. park opening hours), topographical information (e.g. elevation) and other data may be essential.

Despite the limitations, the pilot project developed for the city of Milan demonstrated with reasonable confidence the benefits that such an approach can bring to citizens and administrations in terms of sustainable mobility.

In a context in which civic applications and volunteering initiatives struggle to find the right incentives to encourage citizenship participation, the proposed project provides a tool that improves the urban mobility experience in heterogeneous infrastructural contexts, while at the same time providing tools for state-of-the-art analysis of infrastructure, impact analysis for planned interventions, and identification of high-impact interventions, maximizing return on investment from the point of view of urban sustainability.

Although the development of an integrated infrastructure requires significant time and



Fig. 4 - Assessment of high impact infrastructural actions. Highlighted in red are high-connectivity roads that are systematically avoided by cyclists due to inadequate conditions.

resources, the introduction of crowdsourced digital tools can trigger a virtuous circle, stimulating the adoption of light mobility in suboptimal contexts, making the city more secure, and providing powerful tools to the public administrations.

An extension of this tool with the possibility to collect data on the actual use of the city by cyclists, although requiring careful management of user data and a conscious attention to citizens' privacy, could further shed light on the dynamics of sustainable mobility.

## REFERENCES

- [1] J. Cupples and E. Ridley, "Towards a Heterogeneous Environmental Responsibility: Sustainability and Cycling Fundamentalism," Area, 2008.
- [2] S. Handy, B. van Wee, and M. Kroesen, "Promoting Cycling for Transport: Research Needs and Challenges," Transport Reviews, Jan. 2014.
- [3] P. Oja et al., "Health benefits of cycling: a systematic review," Scandinavian journal of medicine & science in sports, 2011.
- [4] J. Pucher and R. Buehler, "Cycling towards a more sustainable transport future," Transport Reviews, Nov. 2017.
- [5] UN General Assembly, Transforming our world: The 2030 agenda for sustainable development. 2015.
- [6] P. Messerli et al., "Global Sustainable Development Report 2019: The Future is Now—Science for Achieving Sustainable Development," 2019.
- [7] European Commission, Towards a new culture for urban mobility. 2007.
- [8] European Commission, Action Plan on Urban Mobility. 2009.
- [9] European Commission, White Paper. Roadmap to a Single European Transport Area – Towards a competitive and resource efficient transport system. 2011.
- [10] F. Wefering, S. Rupperecht, S. Bührmann, and S. Böhrler-Baedeker, "Guidelines. developing and implementing a sustainable urban mobility plan," 2014.
- [11] R. Meddin, P. DeMaio, O. O'Brien, R. Rabello, and C. Yu, "The bike-sharing world map", 2020.
- [12] A. A. Campbell, C. R. Cherry, M. S. Ryerson, and X. Yang, "Factors influencing the choice of shared bicycles and shared electric bikes in Beijing," Transportation research part C, 2016.
- [13] A. Hull and C. O'Holleran, "Bicycle infrastructure: can good design encourage cycling?," Urban, Planning and Transport Research, 2014.
- [14] S. D. S. Fraser and K. Lock, "Cycling for transport and public health: a systematic review of the effect of the environment on cycling," Eur J Public Health, Dec. 2011.
- [15] N. Cavill, S. Kahlmeier, H. Rutter, F. Racioppi, and P. Oja, "Economic analyses of transport infrastructure and policies including health effects related to cycling and walking: a systematic review," Transport policy, 2008.
- [16] K. F. Navarro et al., "SocialCycle what can a mobile app do to encourage cycling?," in 38th Annual IEEE Conference on Local Computer Networks-Workshops, 2013.
- [17] R. Elvik, "The non-linearity of risk and the

promotion of environmentally sustainable transport," Accident Analysis & Prevention, Jul. 2009.

- [18] European Commission, "Mobility and Transport - Data collection, evaluation, documentation and communication," Mobility and Transport - European Commission, Dec. 13, 2018.
- [19] B. Jestico, T. Nelson, and M. Winters, "Mapping ridership using crowdsourced cycling data," Journal of transport geography, 2016.
- [20] C. Ferster, T. Nelson, K. Laberee, W. Vanlaar, and M. Winters, "Promoting crowdsourcing for urban research: Cycling safety citizen science in four cities," Urban Science, 2017.

## NOTES

1. The application has been designed and developed by the author, together with Sebastiano Scacchetti and Davide Bloise.

## SISTEMI DIGITALI CROWDSOURCED PER LA MOBILITÀ SOSTENIBILE: NAVIGAZIONE, RACCOLTA DATI E PIANIFICAZIONE

### Abstract

Negli ultimi vent'anni le politiche urbane si sono avvicinate a modelli di mobilità sostenibile in cui la bicicletta rappresenta uno dei fattori chiave. Tuttavia, diverse regioni nell'area del Mediterraneo risentono di ritardi infrastrutturali, e la mancanza di dati e strumenti per la mobilità ciclabile ostacola la riduzione di questo divario.

In questo contributo presentiamo un'applicazione web che supporta la mobilità ciclistica in due modi: da un lato fornisce uno strumento per calcolare percorsi sicuri su reti stradali non ottimali, dall'altro raccoglie dati in forma anonima e fornisce uno strumento analitico utile al potenziamento delle infrastrutture. Il progetto pilota, sviluppato a Milano, è stato utilizzato per calcolare più di mezzo milione di percorsi, creando un modello di mobilità che consente operazioni di analisi delle infrastrutture, valutazione dell'impatto e pianificazione al fine di supportare una transizione verso forme di mobilità sostenibile.

**Parole chiave:** crowdsourcing, strumenti digitali, mobilità ciclabile, pianificazione urbana

### Introduzione

I vantaggi associati ad un aumento della mobilità leggera e attiva in contesto urbano sono ben documentati. Da un punto di vista ambientale, pedonalità e ciclabilità hanno impatto sul territorio virtualmente assente, riducono il traffico urbano e l'emissione di gas serra [1], [2]. Dal punto di vista della salute sono negativamente correlati con mortalità, tumori, portano a vantaggi per l'apparato cardio-respiratorio anche con esercizio moderato [3] e costituiscono l'alternativa suggerita al trasporto pubblico nel contesto di un'epidemia. Dal punto di vista economico, richiedono spazi ridotti e sono poco costosi sia per l'utente che per quanto riguarda le infrastrutture. Sono, in altri termini, "sostenibili da un punto di vista ambientale, sociale ed economico" [4]. Nel corso degli ultimi venti anni, i vantaggi della mobilità attiva sono stati riconosciuti anche nel contesto delle politiche per la sostenibilità urbana. A livello globale, l'Agenda 2030 [5] identifica "Città e comunità sostenibili" tra i 17 Obiettivi di Sviluppo Sostenibile (SDGs) da raggiungere entro il 2030, all'interno del quale esplicitamente esprime l'obiettivo di "garantire a tutti l'accesso a un sistema di trasporti sicuro, conveniente, accessibile e sostenibile, migliorando la sicurezza delle strade" (p. 21). Nel primo Global Sustainable Development Report [6], viene inoltre evidenziato più nel dettaglio il ruolo della mobilità attiva (ciclabile e pedonale), per "decarbonizzare i settori dei trasporti e dell'energia" (p.

27), "promuovere modelli di consumo e produzione sostenibili" (p. 28), "separare la crescita urbana dall'incremento del degrado ambientale" (p. 125), e più in generale la fondamentale importanza di spostarsi verso modalità di trasporto più vicine al "trasporto pubblico, modalità mista e mobilità attiva" per raggiungere gli obiettivi di sostenibilità dell'Agenda 2030 e l'Accordo di Parigi (p. 110).

Nel contesto europeo, una serie di iniziative sono state messe in atto per promuovere la transizione verso forme di mobilità sostenibile e attiva: con il Green Paper on Urban Mobility [7], l'Action Plan on Urban Mobility [8] e il Transport White Paper on Sustainable Mobility [9] l'Unione Europea definisce un piano per incentivare la mobilità sostenibile in ambito urbano, che successivamente viene formalizzato attraverso l'introduzione del Sustainable Urban Mobility Plan che evidenziano ulteriormente il ruolo del trasporto ciclabile e pedonale [10].

In seguito alle iniziative intraprese a livello di policy, e ad una generale sensibilizzazione alle tematiche dell'ambiente, negli ultimi venti anni si è assistito ad un mutamento significativo in termini di mobilità sostenibile urbana. Ad una diminuzione dell'uso dell'automobile, si è affiancato un aumento dell'uso della bici e della mobilità attiva, soprattutto nel contesto di città prive di una cultura legata alla mobilità ciclabile [4, p. 691]. Allo stesso modo, in dieci anni i servizi di Bike Sharing sono passati da un primo esperimento a più di 2500 sistemi attivi [11] e l'uso di bici elettroniche ha visto una crescita di incremento da 300.000 a 35 milioni in 15 anni [12].

Anche dal punto di vista delle risorse pubbliche, l'investimento in termini di servizi per la ciclabilità e di infrastrutture segue la stessa tendenza positiva, soprattutto in conseguenza dello sviluppo straordinario di infrastrutture ciclistiche indotto dall'emergenza Covid19, che ha portato alla predisposizione di 2.300 km di nuove piste ciclabili, e all'investimento di oltre 1,1 miliardi di euro in infrastrutture ciclabili nei primi sei mesi dell'epidemia. Tuttavia, lo stato delle infrastrutture nel contesto europeo è eterogeneo. Nello specifico, nel contesto del Mediterraneo, non solo le strutture sono meno estese rispetto ai paesi del Nord Europa, ma tale situazione dà luogo ad un circolo vizioso: infrastrutture inadeguate causano difficoltà nell'adozione della bicicletta come mezzo di trasporto primario e ritardi nello sviluppo di una cultura ciclabile, che a loro volta portano a limitati investimenti per la ciclabilità da parte delle amministrazioni. In sostanza, una adeguata offerta infrastrutturale si dimostra cruciale non solo per un suo intrinseco valore, ma anche in quanto la percezione del rischio costituisce uno dei fattori più influenti sull'uso della bicicletta [13, p. 370]. In questo contesto, se l'installazione di infrastrutture protette e il rallentamento del traffico in aree residenziali sono tra le iniziative più efficaci nell'incrementare il traffico ciclabile [4], [14], tuttavia tali interventi infrastrutturali sono spesso problematici. Malgrado sia stato più volte verificato che, grazie ai vantaggi sulla salute e all'impatto in termini di sostenibilità ambientale e sociale, "le analisi costi-benefici delle infrastrutture per la mobilità ciclistica e pedonale mostrano generalmente un rapporto positivo" [15], tuttavia il costo e l'invasività di tali interventi li rendono di difficile attuazione in contesti privi di una cultura ciclabile preesistente.

### Metodologia

In questo paper presentiamo un approccio design-driven mirato a favorire e promuovere l'uso della bicicletta in contesti con livelli eterogenei di sviluppo infrastrutturale, caratterizzati da infrastrutture inadeguate, frammentate o insufficienti ad assicurare una adeguata percezione di sicurezza. Dal punto di vista metodologico, il progetto si propone di verificare sperimentalmente le potenzialità di progettazione di un'applicazione web (per dispositivi desktop e mobili) che comprenda tanto uno strumento utile per la mobilità ciclabile urbana quanto la contemporanea valorizzazione dei dati generati dagli utenti e dal modello stradale, al fine di effettuare



analisi sullo stato dell'infrastruttura e sui potenziali scenari di intervento. L'obiettivo è quello di intervenire su due diversi piani per facilitare i processi di diffusione della mobilità ciclabile, cercando da una parte di mitigare i fattori che si oppongono ad una più ampia adozione della bicicletta quale mezzo di trasporto e dall'altra raccogliere dati necessari ad un uso più efficiente delle risorse in interventi di ampliamenti infrastrutturali. Per quanto riguarda il primo obiettivo, l'applicazione funge da navigatore ciclabile, calcolando per l'utente itinerari che massimizzano l'utilizzo di piste ciclabili e percorsi sicuri, evitando situazioni di pericolo legate al traffico, a percorsi sconnessi e a strade ad alto scorrimento. La finalità è quella di consentire un'esperienza più sicura e di anticipare eventuali situazioni critiche, abbassando l'incertezza rispetto al percorso, alla tipologia di infrastruttura utilizzata e al livello di comfort atteso, affrontando in questo modo alcuni dei fattori principali che ostacolano l'uso della bicicletta [16, p. 26]. In termini strategici di medio periodo, l'obiettivo è quello di favorire l'adozione della bicicletta anche in contesti non ottimali, innescando un circolo virtuoso che all'aumentare del numero di ciclisti vede un aumentare della sicurezza [17, p. 850]. Per quanto riguarda il secondo obiettivo, il progetto si propone di fornire uno strumento di analisi per le pubbliche amministrazioni che consenta di fare un uso efficiente delle risorse, spesso limitate, dedicate agli interventi infrastrutturali. Tale obiettivo si colloca in un contesto in cui la disponibilità di dati è da considerarsi vitale: più i dati sono aggiornati, affidabili e dettagliati, più è possibile misurare, documentare e analizzare il contesto attuale per definire strategie, costruire infrastrutture, e intervenire sulla base di evidenze attuali e necessità future [18]. Malgrado questa urgenza, le attuali strategie di surveying della mobilità ciclabile in contesto urbano sono caratterizzate da alti costi e da difficoltà significative di attuazione. Sebbene i censimenti e le postazioni di conteggio automatizzate forniscano dati importanti, questi risultano spesso insufficienti alla comprensione delle modalità di spostamento cittadine nel loro insieme in quanto episodici o non sufficientemente dettagliati [19, p. 90]. Allo stesso modo, per quanto riguarda le infrastrutture, i dati comunali spesso trascurano di descrivere molti parametri utili a valutarne la sicurezza o il comfort per la mobilità leggera. Per sperimentare un tale approccio, è stata progettata un'applicazione web composta da tre parti principali: 1) Un componente client sviluppato con tecnologie web (HTML, JS, CSS) che gestisce l'interfaccia utente, la mappatura e le interazioni con l'utente. Permette di visualizzare e di interagire con il percorso calcolato, sia geograficamente che in modo lineare, attraverso l'uso della barra laterale. Gestisce la selezione del tipo di percorso e la visualizzazione di informazioni sulla mappa, quali fontane e parcheggi per biciclette. 2) Un componente server sviluppato in Python che gestisce i dati utente e le query. Gestisce la procedura di registrazione e di autenticazione degli utenti, permette la comunicazione con il client attraverso una API REST dedicata che converte e sottopone al database le query degli utenti. 3) Un database geografico PostGIS con un motore di routing pgRouting che gestisce i dati geografici e i calcoli dei percorsi, combinando le preferenze degli utenti con i dati del grafo stradale. L'applicazione consente all'utente di definire operazioni di navigazione tra un luogo di origine e uno di destinazione (con eventuali fermate intermedie), identificabili tramite indirizzo, nome, o utilizzando la posizione corrente. Una volta definite le tappe, l'utente può scegliere tra tre varianti del percorso (sicura, breve, bilanciata) ed eventualmente personalizzare l'itinerario proposto valutando i singoli tratti di strada. Tali valutazioni, utili per raffinare il tragitto, contribuiscono a raffinare il modello di mobilità e a fornire informazioni dettagliate sulla rete stradale. L'applicazione non limita in alcun modo le funzionalità accessibili agli utenti non registrati, tuttavia è possibile registrarsi tramite e-mail o social media al fine di mantenere le proprie preferenze e personalizzazioni.

## Modelli dati

Dal punto di vista dei dati, l'applicazione è basata su due differenti modelli computazionali: un modello della rete stradale e delle infrastrutture ciclabili, e un modello della mobilità ciclabile progettato per simulare le scelte operate dai ciclisti durante la navigazione in città.

Il modello della rete stradale, costruito a partire dai dati raccolti da OpenStreetMap e integrato attraverso suggerimenti e valutazioni degli utenti, descrive la rete stradale e le infrastrutture ciclabili attraverso un grafo i cui collegamenti rappresentano i segmenti stradali. Ogni segmento è inoltre classificato attraverso più di dieci parametri che descrivono diversi aspetti relativi al livello di comfort del percorso dal punto di vista della mobilità ciclistica, tra cui il tipo di strada (es. pedonale, secondaria, con restrizioni al traffico), le interazioni con il traffico (es. traffico elevato), la qualità dell'infrastruttura (es. superficie stradale), e le restrizioni stradali (es. percorso contromano, scalini). Il modello della mobilità ciclabile è rappresentato da un algoritmo di routing (navigazione) che, in base alle caratteristiche dei segmenti stradali e alle caratteristiche geografiche del territorio, minimizza il "costo di trasporto" simulando con buona approssimazione le scelte di percorso di ciclisti prudenti, intermedi, o esperti.

Integrando questi modelli con i dati raccolti dall'utilizzo dell'applicazione, il progetto si propone di contribuire alla definizione di un modello di ciclabilità della città su tre piani. Attraverso la descrizione della rete stradale urbana e delle infrastrutture legate alla ciclabilità, il sistema si propone di descrivere la città dal punto di vista della mobilità leggera, identificando i diversi tipi di infrastruttura, le caratteristiche della copertura stradale, le caratteristiche di geometria stradale e le interazioni con altri mezzi che possono costituire elementi di rischio o pericolo per il ciclista. Attraverso la registrazione (in forma anonima) delle ricerche degli utenti, l'applicazione registra la domanda di mobilità urbana, in termini di origini e destinazioni, orari, e preferenze di percorso. Infine, attraverso la segnalazione di aggiustamenti relativi al percorso (strade da evitare, o da preferire), l'applicazione registra eventuali incoerenze tra la descrizione dell'infrastruttura e la percezione dell'utente finale in termini di sicurezza e comfort, eventualmente permettendo di aggiustare il modello utilizzato per selezionare i percorsi o la descrizione della rete stradale.

Tali dati, sebbene ricavati dall'aggregazione di contributi forniti volontariamente (crowdsourcing) e quindi non affidabili quanto lo possono essere dati raccolti tramite processi controllati, sono tuttavia utili a comprendere i comportamenti degli utenti, monitorare e identificare opportunità di intervento e valutare l'impatto di interventi infrastrutturali [20, p. 21], e sembrano essere ampiamente rappresentativi di comportamenti generali anche in casi con una partecipazione limitata [19].

## Risultati: un modello di mobilità urbana ciclabile

Il progetto, così come presentato, è stato implementato sotto forma di un progetto pilota per la città di Milano a partire dal 2012, registrando un'ottima accoglienza da parte di pubblico e istituzioni. Tale implementazione, seppure non mantenuta attivamente, è tuttora online e continua a registrare un numero stabile di accessi e contributi da parte degli utenti. Nell'implementazione milanese, la rete stradale e di infrastruttura ciclabile è costituita da più di 25.000 segmenti stradali, classificati sulla base dei parametri precedentemente descritti, e da più di 4.000 punti di interesse tra musei, teatri, cinema ed altri esercizi. Nel corso del pilota, il progetto ha calcolato e registrato una media di 40.000 percorsi al mese, su dispositivi desktop e mobile. I segmenti stradali valutati sono stati circa 12.000, con circa 4.000 strade segnalate come "da evitare", 3.300 strade "da preferire", e 4.800 strade "da evitare se possibile". Gli utenti che hanno deciso di registrarsi per memorizzare le modifiche, sono stati circa 650.

Questo utilizzo, oltre a confermare l'utilità dello strumento per la popolazione, ha permesso al progetto

di costruire, attraverso i dati, un modello della città a supporto di analisi riferite alla mobilità ciclabile. I modelli precedentemente descritti, costruiti sulla base dei dati raccolti, hanno permesso di compilare una descrizione dettagliata e aggiornata della città ciclabile, di svolgere analisi sullo stato infrastrutturale attuale e sulla richiesta di mobilità, e hanno consentito di costruire modelli predittivi e analitici per potenziali interventi sulla rete infrastrutturale.

Nello specifico, sul piano delle infrastrutture, il progetto ha permesso di leggere la città dal punto di vista della ciclabilità, di identificare aree pericolose perché prive di infrastrutture adeguate, di stimare l'impatto di interventi infrastrutturali.

Sul piano della mobilità, i modelli hanno fornito la possibilità di ottenere informazioni sullo stato della richiesta di mobilità ciclabile (Fig. 1) e sulle dinamiche di movimento come ad esempio stime di flussi nella rete stradale, identificazione di aree scarsamente connesse e analisi di trasporto multimodale.

Sul piano degli interventi infrastrutturali, i modelli di ciclabilità si sono dimostrati in grado di fornire misure di impatto in termini di miglioramento della connettività, e di bacini di utenza coinvolti (Fig. 2). Infine, sul piano della pianificazione, il sistema ha permesso di eseguire analisi utili ad identificare le connessioni che offrono il migliore potenziale di connettività ciclabile, sulla quali vale la pena di investire per conversioni in piste ciclo-pedonali (Fig. 3), o le strade sulle quali è invece prioritario intervenire per garantire la sicurezza dei ciclisti, attraverso l'introduzione di percorsi protetti, la riduzione della carreggiata o il rallentamento del traffico.

## Discussione

Sebbene il pilota possa essere considerato un successo, ha anche messo in luce una serie di questioni con lo sviluppo di applicazioni di questo tipo:

- Sebbene i dati di OpenStreetMap stiano costantemente migliorando, tali dati sono più adatti per applicazioni cartografiche che all'analisi di mobilità, e spesso necessitano di correzioni ad hoc.
- Sensibili differenze nelle infrastrutture cittadine rendono complicato lo sviluppo di un modello di mobilità generale, adatto all'intero contesto europeo.
- In alcuni contesti territoriali, informazioni temporali (es. orari di apertura dei parchi), topografiche (es. elevazione) o di altro tipo possono essere indispensabili. Malgrado le limitazioni della sperimentazione, il progetto pilota sviluppato per la città di Milano ha dimostrato con ragionevole sicurezza i benefici che un progetto di questo tipo può portare alla cittadinanza e alle amministrazioni in termini di mobilità sostenibile. In un contesto in cui civic applications e iniziative di volontariato faticano a trovare gli incentivi giusti per stimolare una partecipazione della cittadinanza, il progetto proposto fornisce uno strumento che migliora l'esperienza della città in contesti infrastrutturali eterogenei, e contemporaneamente fornisce strumenti per l'analisi dello stato dell'arte infrastrutturale, per l'analisi dell'impatto di interventi eseguiti o pianificati, e fornisce un supporto nell'identificare interventi di alto impatto, con il massimo ritorno di investimento dal punto di vista della mobilità leggera e della sostenibilità urbana. Sebbene lo sviluppo di un'infrastruttura integrata richieda tempo e risorse significative, l'introduzione di strumenti digitali crowdsourced può innescare un circolo virtuoso, stimolando l'adozione di mobilità leggera in contesti subottimali, rendendo la fruizione della città più sicura, e fornendo potenti strumenti all'amministrazione. Un'estensione di questo strumento con la possibilità di raccogliere dati sull'effettivo uso della città da parte dei ciclisti, sebbene richieda un'attenta gestione dei dati degli utenti e una consapevole attenzione alla privacy dei cittadini, potrebbe ulteriormente far luce sulle dinamiche della mobilità sostenibile.

## NOTES

1. L'applicazione è stata progettata e sviluppata dall'autore, in collaborazione con Sebastiano Scacchetti e Davide Bloise.