

Dar forma a spazi pubblici accessibili per le persone con limitazioni visive. L'esperienza di ricerca BUDD-e

RICERCA E
SPERIMENTAZIONE/
RESEARCH AND
EXPERIMENTATION

Andrea Rebecchi¹, <https://orcid.org/0000-0002-0180-6458>
Marcello Farina², <https://orcid.org/0000-0003-4209-9152>
Giuseppe Andreoni³, <https://orcid.org/0000-0002-5537-4128>
Stefano Capolongo¹, <https://orcid.org/0000-0002-4679-9829>
Matteo Corno², <https://orcid.org/0000-0003-2644-7487>
Paolo Perego³, <https://orcid.org/0000-0003-4960-8888>
Emanuele Lettieri⁴, <https://orcid.org/0000-0003-1235-989X>

andrea.rebecchi@polimi.it
marcello.farina@polimi.it
giuseppe.andreoni@polimi.it
stefano.capolongo@polimi.it
matteo.corno@polimi.it
paolo.perego@polimi.it
emanuele.lettieri@polimi.it

¹ Dipartimento di Architettura, ingegneria delle costruzioni e ambiente costruito, Politecnico di Milano, Italia

² Dipartimento di Dipartimento di Elettronica, Informazione e Bioingegneria, Politecnico di Milano, Italia

³ Dipartimento di Design, Politecnico di Milano, Italia

⁴ Dipartimento di Ingegneria Gestionale, Politecnico di Milano, Italia

Abstract. Il paper descrive metodo e risultati preliminari dell'esperienza di ricerca "Blind-assistive aUtonomous Droid Device: BUDD-e" finanziata nell'ambito del programma *Polisocial Award* 2021 del Politecnico di Milano, avente lo scopo di sviluppare un approccio multidisciplinare per colmare il divario in termini di progettazione inclusiva e rendere gli spazi e i servizi accessibili, funzionali e utilizzabili da persone con limitazioni visive (*Blind and Visually Impaired people*). Lo scopo della ricerca è quello di garantire accessibilità ai luoghi pubblici – sia outdoor che indoor – nell'ambito dei quali il robot BUDD-e assumerà autonomamente il ruolo di guida. Verranno applicati principi di progettazione incentrata sull'utente per supportare l'accessibilità a tali luoghi, dove la guida robotica BUDD-e sarà una caratteristica primaria per consentire la fruizione dei servizi.

Parole chiave: Spazi pubblici accessibili; Ambiente costruito inclusivo; Persone con limitazioni visive; Progettazione incentrata sull'utente; Benessere degli utenti.

Theoretical background, context scenario e needs' analysis

Le pandemia COVID19 e le relative politiche sociali hanno avuto un forte impatto sulla vita della popolazione e, in modo ancora più drammatico, su quella dei gruppi vulnerabili, quali ad esempio le persone con limitazioni visive. È stata limitata la possibilità di sviluppare relazioni sane, partecipare ad eventi, attività sociali, frequentare spazi pubblici; anche le attività quotidiane (ad es. utilizzare i servizi pubblici, fare acquisti,

praticare sport) sono state gravemente limitate negli ultimi anni.

La pandemia di COVID19 è un'importante dimostrazione dei doppi effetti dell'urbanizzazione sull'ambiente costruito (Capolongo *et al.*, 2020), ovvero la capacità intrinseca della città contemporanea di essere luogo di opportunità sociali ed economiche e, al tempo stesso, occasione di molteplici fattori di rischio per la Sanità Pubblica e il Welfare Sanitario, a causa delle disuguaglianze sanitarie che possono insorgere. Inoltre, il COVID19 è stato un acceleratore di diverse istanze sociali e digitali, già presenti nelle nostre società contemporanea, ma che hanno trovato nel corso degli anni difficoltà ad essere considerate come temi cruciali da sviluppare: uno su tutti, il tema dell'accessibilità, soprattutto delle categorie di popolazione fragile.

Facendo riferimento all'Organizzazione Mondiale della Sanità (OMS), le persone con limitazioni visive (Blind and Visually Impaired, BVI) hanno particolarmente risentito dell'emergenza COVID19 e sono state drammaticamente colpite dalle misure di contenimento, essendo soggetti fragili a rischio di contagio. Questa situazione è causata dal fatto che gli utenti BVI hanno bisogno del contatto tattile con l'ambiente e di una guida per muoversi ed orientarsi all'interno dell'ambiente costruito.

multiple risk factors for Public Health and Sanitary Welfare, due to the health inequalities that may develop. Moreover, COVID-19 was a key accelerator of several social and digital issues, which were already present in our contemporary societies, but struggled to be considered as crucial issues to be addressed, particularly the problem of accessibility, especially for fragile population categories. According to the World Health Organisation (WHO), Blind and Visually Impaired (BVI) people particularly suffered from the COVID-19 emergency, and are still dramatically affected by the containment measures, being also particularly prone to the risk of contagion. This situation is caused by the fact that BVI people need tactile contact with the environment and a guide for moving and orienteering. Visually impaired people account for

Shaping accessible public spaces for visually impaired people. The BUDD-e research experience

Abstract. The paper describes both the method and the preliminary outcomes of the "Blind-assistive aUtonomous Droid Device: BUDD-e" research experience, funded by *Polisocial Award* 2021 of Politecnico di Milano, and designed to exploit a multidisciplinary approach to bridge the gap of inclusive design, making spaces and services accessible, functional, and usable by Blind and Visually Impaired (BVI) people. The research purpose is to develop accessible public places and indoor environments where the autonomous robot BUDD-e will act as guide for the BVI people. User-centred design principles will be applied to support accessibility to – both outdoor and indoor – public places, where the robot guide BUDD-e will be a primary feature in allowing access to services.

Keywords: Accessible Public Spaces; Inclusive Built Environment; Blind Visually Impaired People; User-Centred Design; User Well-being.

Theoretical background, context scenario and needs analysis

The COVID-19 pandemic and related social policies have strongly impacted the population's life and, even more dramatically, that of vulnerable groups, for instance people with visual impairments. The possibility of developing healthy relationships, of taking part in social events and activities, and of visiting public spaces has been restricted. Even everyday activities (e.g. using public services, shopping, practicing sports) have been severely limited in the last years.

The COVID-19 pandemic is an important demonstration of the dual effects of urbanisation on the built environment (Capolongo *et al.*, 2020), precisely the inherent capacity of the contemporary city to be a place of social and economic opportunities and, at the same time, one presenting mul-

multiple risk factors for Public Health and Sanitary Welfare, due to the health inequalities that may develop. Moreover, COVID-19 was a key accelerator of several social and digital issues, which were already present in our contemporary societies, but struggled to be considered as crucial issues to be addressed, particularly the problem of accessibility, especially for fragile population categories.

According to the World Health Organisation (WHO), Blind and Visually Impaired (BVI) people particularly suffered from the COVID-19 emergency, and are still dramatically affected by the containment measures, being also particularly prone to the risk of contagion. This situation is caused by the fact that BVI people need tactile contact with the environment and a guide for moving and orienteering. Visually impaired people account for

Le persone con disabilità visive equivalgono al 4% della popolazione globale (circa 253 milioni); in Italia sono poco meno di 2 milioni di cui 219.174 sono assolutamente ciechi (0,3% della popolazione), mentre 1.383.922 (2,3%) hanno un residuo visivo. Tra il 2010 e il 2030 è previsto un aumento delle persone con disabilità visive di circa il 25% a causa dell'invecchiamento della popolazione.

Oggi giorno, le persone con disabilità visive devono affrontare ostacoli quotidiani all'accesso a servizi e beni. Gli spazi condivisi possono risultare scarsamente accessibili per le persone con limitazioni visive, in funzione della mancanza di strumenti ambientali inclusivi. Sviziati studi scientifici (Manduchi and Kurniawan, 2011) dimostrano che la perdita della vista aumenta il rischio di lesioni ed evidenzia una correlazione significativa tra il tipo, la gravità e la frequenza delle lesioni e il grado di perdita della vista. Un numero considerevole di persone con limitazioni visive hanno bisogno di compagni vedenti per qualsiasi tipo di spostamento urbano outdoor e indoor (Zeng, 2015); trovare e raggiungere luoghi e orientarsi, ad esempio, centri medici, ospedali e centri commerciali (che spesso non hanno personale sufficiente per offrire aiuto) è problematico anche perché i cani da assistenza spesso subiscono rifiuti di accesso.

In molti Paesi sono state introdotte Leggi e programmi per promuovere la parità di accesso ai servizi per le persone con disabilità visive, quali ad esempio, i documenti UK's Equality Act of 2010 (UK government, 2010) e USA's Americans with Disabilities Act (U.S. Department of Justice, 1990; 2008). Le architetture complesse e di pubblica fruizione devono apportare modifiche sostenibili quanto immediate per rendere accessibili i propri servizi. Per le aziende, sia pubbliche che private, sta di-

4% of the global population (about 253 Million); in Italy, they are just under 2 Million, of which 219,174 are absolutely blind (0.3% of the population), while 1,383,922 (2.3%) have a visual residue. Between 2010 and 2030 an approximate 25% increase in people with visual disabilities is expected due to population ageing.

Nowadays, people with visual impairments face barriers in accessing services and goods. Shared spaces could result almost inaccessible for BVI people, also since inclusive environmental tools are missing. Scientific studies (Manduchi and Kurniawan, 2011) show that vision loss increases the risk of injury, and highlight a significant correlation between type, severity, and frequency of injuries, and the degree of vision loss. A considerable number of BVI individuals need sighted companions when travelling outdoors

(Zeng, 2015). Finding and getting to places, e.g. medical centres, hospitals, and shopping centres (that often do not have enough staff to offer help), is problematic also because guide dogs are often refused access.

In many Countries, Laws, regulations and programmes have been introduced to promote equal access to services for disabled people, for instance the UK's Equality Act of 2010 (UK government, 2010) and the USA's Americans with Disabilities Act (U.S. Department of Justice, 1990; 2008). Complex and public architectures need to develop sustainable and immediate adjustments to make their services accessible. For both public and private companies, it is becoming increasingly important to employ inclusion practices. Shoppers are, in fact, turning to retailers that apply them (Accenture, 2019).

ventando sempre più importante adottare pratiche di inclusione: gli acquirenti si stanno infatti rivolgendo ai rivenditori che le applicano (Accenture, 2019).

La mobilità indipendente dovrebbe essere incoraggiata progettando e costruendo architetture pubbliche accessibili e sviluppando tecnologie assistive. In ambienti interni e strutturati, gli ausili tecnologici maggiormente diffusi per la localizzazione e il tracciamento, variano da quelli che utilizzano i sensori degli smartphone, ai sistemi basati su telecamera (dove una guida remota fornisce istruzioni vocali all'utente) e beacon (Guerreiro, 2019a). Si registrano anche crescenti interessi e ricerche nell'ambito degli ausili quali i cosiddetti "bastoni da orientamento" che integrano sensori digitali e robot guida, che sono ideati per copiare le funzioni dei tradizionali ausili alla navigazione superando alcuni dei loro limiti, ad esempio per orientarsi e spostarsi in ambienti non familiari all'utente. Per guidare la ricerca su questo argomento (Hersh and Johnson, 2012), alcuni studi forniscono un questionario di indagine sui requisiti delle persone con limitazioni visive per una guida robotica, da cui vengono tratte le specifiche di progettazione, ad esempio compattezza, robustezza, affidabilità, presenza di un manico telescopico e locomozione su ruote. Le funzionalità iniziali consentono il superamento degli ostacoli e la navigazione verso la destinazione, ma il robot dovrebbe essere personalizzabile per una gamma più ampia di impostazioni. Le poche guide robot (Chuang *et al.*, 2018; Elgendy *et al.*, 2019; Guerreiro *et al.*, 2019b; Kulkarni *et al.*, 2017; Tobita *et al.*, 2017; Zeng *et al.*, 2019) recentemente sviluppate e presentate al mercato, non sono conformi a questi requisiti, essendo per lo più focalizzati sul solo evitamento degli ostacoli, non personalizzabili e con maniglie rigide.

Independent mobility should be encouraged by designing and building accessible public architectures, and by developing assistive technologies. In indoor and structured places the most widespread devices are those for localisation and tracking, which span those making use of smartphone sensors and camera-based systems (where a remote guide gives instructions), and beacons (Guerreiro, 2019a). There has been also growing research dedicated to enhanced canes and guide robots, which are devised to copy functions of traditional navigation aids while overcoming some of their limitations, e.g. navigating environments unfamiliar to the user.

To drive the research on this topic, Hersh and Johnson (Hersh and Johnson, 2012) provide a survey questionnaire on the requirements of BVI people for a robot guide, from which design specifications are drawn, e.g.

compactness, robustness, reliability, the presence of a telescopic handle, and wheeled locomotion. Initial functionalities should include obstacle avoidance and navigation to destination, but the robot should be customisable for a wider range of settings.

The few robot guides (Chuang *et al.*, 2018; Elgendy *et al.*, 2019; Guerreiro *et al.*, 2019b; Kulkarni *et al.*, 2017; Tobita *et al.*, 2017; Zeng *et al.*, 2019) proposed recently are not compliant with these requirements, being mostly focused on obstacle avoidance alone. They are not customisable, and have rigid handles. The robot guide BUDD-e ("*Blind-assistive aUtonomous Droid Device*") will overcome the limitations of present robotic guides as it is dynamic, robust and flexible, besides being easily customisable. This will be possible also thanks to the smart tether system, which permits a more intuitive and

La guida robotica BUDD-e (“*Blind-assistive aUtonomous Droid Device*”), oggetto della ricerca che verrà successivamente argomentata, supererà i limiti delle attuali guide robotiche essendo dinamica, robusta e flessibile, oltre ad essere facilmente personalizzabile. Ciò sarà possibile anche grazie al sistema smart-tether, che consentirà un’interazione robot-utente più intuitiva e naturale rispetto le precedenti già disponibili sul mercato. L’analisi della letteratura scientifica, dei brevetti presenti e l’analisi di mercato hanno evidenziato l’opportunità e la necessità di sviluppare un robot guida con le funzionalità quali capacità di muoversi in autonomia in spazi popolati, flessibilità e adattabilità rispetto al comportamento dell’utente (velocità e frequenza del passo) e necessità di un segnalatore acustico.

Dal punto di vista architettonico, luogo della sperimentazione saranno luoghi outdoor e architetture indoor di pubblica fruizione, quali strutture socio-sanitarie e sportive (nella prima fase di sperimentazione), nonché spazi commerciali e culturali/museali (in seconda fase), in quanto rappresentano complessivamente i luoghi essenziali e strategici per l’interazione e l’inclusione sociale (Mosca *et al.*, 2019a).

Tale situazione potrà incidere positivamente anche sulla ripresa di molte attività economiche, favorendo l’accesso degli utenti ipovedenti (compresi gli anziani affetti da deterioramento senile della capacità visiva) alle strutture pubbliche, ai servizi, all’intrattenimento, allo sport e ai luoghi commerciali.

Research aim

Il Progetto di Ricerca “*Blind-assistive aUtonomous Droid Device: BUDD-e*” finanziato dal Polisocial Award 2021 del Politecnico di Milano, mira a sfruttare la multidisciplinarietà del

natural robot-user interaction, compared to the previous ones already available on the market. The analysis of the scientific literature, the licenses present, and the market analysis have highlighted the opportunity and the need to develop a robot guide with functions such as the ability to move independently in crowded spaces, flexibility and adaptability to the user’s behaviour (step speed and frequency), and the need for an acoustic signal. From an architectural point of view, places of experimentation will be outdoor sites and indoor architectures for public use, such as healthcare and sports facilities (in the early phase of experimentation), as well as commercial and cultural/museum spaces (in the second phase), as they represent overall the essential and strategic places for interaction and social inclusion (Mosca *et al.*, 2019a).

This situation could also positively affect the recovery of many economic activities, facilitating access for visually impaired users (including the elderly with senile deterioration of vision) to public facilities, services, entertainment, sports and commercial venues.

Research aim

The “*Blind-assistive aUtonomous Droid Device: BUDD-e*” research experience – funded by Polisocial Award 2021 of Politecnico di Milano – aims at exploiting the multidisciplinarity of the team to bridge the gap towards inclusive design, to make spaces and services accessible to, functional, and usable by BVI people.

The purpose of the research is to support the development of the BUDD-e autonomous robot in technical-IT, technological, managerial and spatial terms, so that it can assume the role of

team per colmare il divario verso il design inclusivo, per rendere gli spazi e i servizi accessibili, funzionali e utilizzabili dalle persone con limitazioni visive.

Lo scopo della ricerca è quello di supportare lo sviluppo del robot autonomo BUDD-e in termini tecnico-informatici, tecnologici, gestionali e spaziale, affinché possa assumere il ruolo di guida per le persone con limitazioni visive, consentendo loro la fruizione dei servizi offerti. Verranno applicati principi di progettazione incentrata sull’utente (Mosca *et al.*, 2019b) a supporto dell’accessibilità ai luoghi (esterni e interni) a fruizione pubblica, dove il robot guida BUDD-e eserciterà un ruolo determinante per consentire l’accessibilità ed il raggiungimento delle destinazioni desiderate.

Research Method

Il Progetto di Ricerca BUDD-e – tuttora in corso di sviluppo (Marzo 2022 - Giugno 2023) – dal punto di vista metodologico, è stato suddiviso in quattro step principali: Analisi del contesto; Progettazione e realizzazione di un prototipo di guida robotica; Sperimentazione nell’ambito di due differenti casi studio; Validazione, scalabilità e sfruttamento dei risultati.

Analisi del contesto

Sulla base di un’indagine preliminare e di una discussione con le parti interessate come il Consiglio Regionale Lombardo dell’Unione Italiana dei Ciechi e degli Ipovedenti (UICI)¹ e la Fondazione Istituto dei Ciechi di Milano (ICM) ONLUS², il gruppo di ricerca ha individuato quattro aree target di intervento, rivolte sia ai bisogni primari (luoghi per l’assistenza sanitaria ed il benessere, ovvero orientamento nelle strutture

guide for BVI people, allowing them to use the services offered. User-centred design principles (Mosca *et al.*, 2019b) will be applied to support accessibility to public (outdoor and indoor) places where the robot guide BUDD-e will be a primary feature in ensuring accessibility and reaching the desired destinations.

Research Method

The BUDD-e research experience is in progress (March 2022 - June 2023), and from a methodological point of view, it is divided into four main steps: Context analysis; Design and creation of a robot guide prototype; Experimentation within two different case studies; Validation & Exploitation of the results.

Context analysis

Based on a preliminary investigation and discussion with stakeholders,

like *Consiglio Regionale Lombardo dell’Unione Italiana dei Ciechi e degli Ipovedenti (UICI)*¹ and *Fondazione Istituto dei Ciechi di Milano (ICM) ONLUS*², the research group identified four target areas of intervention, addressing both primary needs (healthcare and well-being, i.e. wayfinding in healthcare facilities and training in sports centres), and secondary needs (navigation in shopping centres and cultural centres/museums). Interviews, focus groups, market analysis, and literature reviews about the application scenarios identified thanks to UICI and ICM are crucial to highlight the opportunities for spatial improvement in terms of inclusiveness and accessibility, with focus on BVI’s needs, to build understanding, awareness, and motivation not only about the potentialities of the project, but also about its realistic objectives and limits.

sanitarie e formazione nei centri sportivi) sia ai bisogni secondari (navigazione all'interno dei centri commerciali e dei centri culturali/musei).

Interviste, focus group, analisi di mercato e revisioni della letteratura sugli scenari applicativi individuati grazie a UICI e ICM, sono fondamentali per evidenziare le opportunità di miglioramento degli spazi in termini di inclusività e accessibilità, con focus sui bisogni di BVI, per portare comprensione, consapevolezza e motivazione non solo sulle potenzialità del progetto, ma anche sui suoi realistici obiettivi e limiti.

UICI, ICM, DISABILINCORSA ONLUS³, ed il Gruppo Sportivo Dilettantistico GSD Non Vedenti Milano (NVM) ONLUS⁴, hanno avuto un ruolo determinante nella definizione delle aree che richiedono un intervento urgente e le azioni obbligatorie da intraprendere, con attenzione alle potenzialità ed ai bisogni di un robot guida. ASST Grande Ospedale Metropolitan Niguarda⁵, Azienda Servizi alla Persona (ASP) Golgi Redaelli⁶ e Tactile Vision ONLUS⁷ rappresentano il punto di vista degli erogatori (providers) dei suddetti servizi e degli esperti di architettura, ed avranno pertanto un ruolo strategico sia per la caratterizzazione gli spazi in analisi, sia per la definizione dei vincoli costruttivi e finanziari da rispettare. Per tutti gli scenari applicativi, si stanno concludendo le fasi di definizione delle caratteristiche tipologiche, spaziali, funzionali, lo studio dei flussi e dei vincoli ottimali relativi all'accessibilità degli spazi, comprese le esigenze di *wayfinding*, orientamento e segnaletica. Lo scopo principale di questa importante *Work Package* iniziale è quello di sviluppare sia i principi di progettazione architettonica, che le opportunità (alternative spaziali) delle guide robot.

UICI, ICM, DISABILINCORSA ONLUS³, and Gruppo Sportivo Dilettantistico GSD Non Vedenti Milano (NVM) ONLUS⁴ played a key role underlining the areas that require urgent intervention and the mandatory actions to be undertaken, with focus on the roles of a robot guide. ASST Grande Ospedale Metropolitan Niguarda⁵, Azienda Servizi alla Persona (ASP) Golgi Redaelli⁶, and Tactile Vision ONLUS⁷ are bringing the perspective of the aforementioned service providers and architectural experts. They will play a crucial role both in characterising spaces under analysis and in defining the constructive and financial constraints to be complied with. For all the application scenarios, the Authors are concluding the definition phases of the optimal typological, spatial, functional characteristics, flows and constraints related to the ac-

cessibility of the spaces, including wayfinding and signage needs. The main purpose of this working package is to develop both the architectural design principles and the spatial opportunities/alternatives of robot guides.

Design and creation of a robot guide prototype

Creation of the smart tether system for user-robot interaction. Design of a navigation software, considering the goals defined for the robot, interactions with the user via the smart tether, data from wearable sensors, and obstacles. It will be implemented in ROS (i.e. a standard operating system in Robotics) to leverage on the components already available from the ROS community, but also to distribute all the software developed as an open source component. The navigation software will be easily adaptable to dif-

Progettazione e realizzazione di un prototipo di guida robotica
Realizzazione del sistema *smart tether* per l'interazione utente-robot. Progettazione di un software di navigazione, considerando gli obiettivi del robot, le interazioni con l'utente tramite lo *smart tether*, i dati dei sensori indossabili e gli ostacoli che potrebbero presentarsi sul percorso. Il Sistema sarà implementato in ROS (i.e., *Standard Operating system in Robotics*) per sfruttare i componenti già disponibili dalla comunità ROS, ma anche per distribuire il *software* sviluppato come componente *open source*. Il *software* di navigazione sarà facilmente adattabile a diverse piattaforme ROS-compliant. Il robot selezionato per gli esperimenti sarà YAPE, un droide autonomo a due ruote prodotto da YAPE S.r.l.⁸ e reso disponibile al gruppo di ricerca.

Sperimentazione su un caso studio avente funzione socio-sanitaria

Identificazione dei bisogni specifici dei pazienti con limitazioni visive (anche mediante il supporto di UICI e ICM) e definizione delle possibili necessarie modifiche architettoniche degli spazi nell'ambito del principale caso studio (*indoor*) individuato dal gruppo di ricerca: ASST Grande Ospedale Metropolitan Niguarda. In questo contesto, va sottolineato che una struttura socio-sanitaria quale un ospedale poli-specialistico è uno degli edifici più complessi che potrebbero essere presi in considerazione (Brambilla *et al.*, 2019); il rapporto tra utenti ed ospedale è notoriamente complesso, soprattutto in relazione alla situazione fisica ed emotiva degli utenti, con impatti rilevanti sulla loro capacità di orientarsi all'interno dell'architettura (Capolongo *et al.*, 2014). Un ospedale dovrebbe accogliere gli utenti e dare loro le garanzie necessarie che si aspettano da una struttura sani-

ferent ROS-compliant platforms. The robot selected for the experiments will be YAPE, a two-wheeled autonomous droid produced by YAPE S.r.l.⁸ and made available to the research team.

Experimentation on healthcare facilities – a case study

Identification of the specific needs of BVI patients (thanks to UICI and ICM), and definition of the required/possible architectural modifications to spaces inside the main healthcare (*indoor*) case study part of the research group: the "ASST Grande Ospedale Metropolitan Niguarda" Hospital. In this context, it should be underlined that a healthcare facility is one of the most complex buildings that could be taken into consideration (Brambilla *et al.*, 2019). Indeed, the relationship between users and the hospital is very intricate, especially in relation to users'

emotional involvement, their physical and emotional orientation and, in most cases, it is affected by their condition, particularly for patients (Capolongo *et al.*, 2014). A hospital should welcome users and give them the necessary guarantees they expect from a healthcare facility: precisely, humaneness, treatment, and safety (Capolongo *et al.*, 2016). In a hospital, the capability to help users not lose their own identity, and to assist them in dealing with their impaired psycho-physical condition is crucial, and is achieved by establishing relations between the structure and the territorial context in a perspective of collaboration, social inclusion and participation (Capolongo *et al.*, 2015). Moreover, strong attention to hospital spaces can have an important effect on user trust (Buffoli *et al.*, 2015). For all the reasons cited above, the customisation of the robotic guide to perform

taria: umanità, cure e sicurezza (Capolongo *et al.*, 2016). In un ospedale è fondamentale essere capaci di supportare gli utenti a non perdere la propria identità e aiutarli ad affrontare la propria condizione psico-fisica compromessa, instaurando relazioni tra la struttura e il contesto territoriale in un'ottica di collaborazione, inclusione sociale e partecipazione (Capolongo *et al.*, 2015). Inoltre, una forte attenzione agli spazi ospedalieri può avere un effetto importante sulla fiducia degli utenti (Buffoli *et al.*, 2015); per tutti i motivi sopra citati, la personalizzazione della guida robotica – per svolgere le attività di orientamento e accompagnamento dei pazienti con limitazioni visive – diviene cruciale. L'indagine presso ASST Grande Ospedale Metropolitano Niguarda (Giugno/Luglio 2022) ha consentito di prendere consapevolezza degli spazi (Fig. 1) che ospiteranno la prima applicazione pilota del progetto BUDD-e, con particolare riferimento: al Padiglione 1 (Fig. 2) che rappresenta il principale “gate” di accesso/ingresso al complesso ospedaliero; al Blocco Nord (Fig. 3), nell'ambito del quale è stato concordato che la sperimentazione riguarderà il “punto prelievi” sito al piano terra dello stesso; al Blocco Sud (Fig. 4), che ospita la seconda ed ultima funzione sanitaria che viene considerata quale destinazione degli utenti interessati dalla sperimentazione, ovvero gli “ambulatori di cardiologia”. Punto prelievi e ambulatori di cardiologia, sono stati definiti – in collaborazione alle Direzioni Sanitaria e Strategica dell'Ospedale Niguarda – le due funzioni sanitarie a maggior fruizione da parte di utenti ciechi/ipovedenti.

Sperimentazione su un caso studio avente funzione sportiva

Analisi del contesto sportivo individuato per la sperimentazione nella seconda architettura (outdoor) a fruizione pubblica,

indoor wayfinding functionalities is of the utmost importance.

The investigation at the “ASST Grande Ospedale Metropolitano Niguarda” Hospital (June/July 2022) allowed to gain awareness of the spaces (Fig. 1) that will host the first pilot application of the BUDD-e project, with particular reference to: Pavilion 1 (Fig. 2), which is the main access/entrance “gate” to the healthcare area; to the North Block (Fig. 3), in the context of which it was agreed that the experimentation will concern the “withdrawal point” located on the ground floor of the same; to the South Block (Fig. 4), which houses the second and last sanitary function, which is considered the destination of users involved in the experimentation, i.e. the “cardiology clinics”. Blood sampling point and cardiology clinics, the two health functions most used by BVI users, were defined, in collaboration

with the Health and Strategic Departments of the Niguarda Hospital.

Experimentation on a sports centre - case study

Analysis of the sporting context identified for the experimentation within the second (outdoor) architecture of public fruition, specifically on the athletics track of the Giuriati Sports Field of the Politecnico di Milano (PolimiSPORT). The investigation at the Giuriati Sport Center (July 2022) was conducted in the presence of the DEIB-POLIMI Colleagues engaged in the first tests of technological operation. The investigation allowed to first evaluate all the methods of use of the athletics track (Fig. 5): lane 1 vs lane 6; the latter option was considered more disadvantageous than the first, since, even if closer to the direct exits from the changing rooms (Fig. 6), it would form a break

ovvero la pista di atletica leggera del Campo Sportivo Giuriati del Politecnico di Milano (PolimiSPORT).

L'indagine presso Giuriati Sport Center (Luglio 2022) si è svolta in concomitanza con la presenza dei Colleghi del Dipartimento DEIB del Politecnico di Milano impegnati nelle prime prove di operatività tecnologica. I sopralluoghi hanno consentito di valutare innanzitutto le modalità di utilizzo della pista di atletica (Fig. 5): corsia 1 vs corsia 6; quest'ultima opzione è stata ritenuta più svantaggiosa rispetto la prima, in quanto, anche se maggiormente prossima alle uscite dirette dagli spogliatoi (Fig. 6), rappresenterebbe una cesura per gli altri utenti che necessiterebbero di accedere alla pista di atletica.

La guida del robot verrà opportunamente personalizzata in base sia alle esigenze degli sportivi e degli atleti con limitazioni visive (anche attraverso interviste e grazie a UICI, ICM, DISABILINCORSA, NVM), sia per merito della integrazione con guide esperte (dialogo con DISABILINCORSA), ed ai programmi di formazione *ad hoc*. Saranno monitorati i parametri bio-meccanici e saranno caratterizzati i loro profili standard/ottimali. In questo contesto outdoor, la sperimentazione diventa ancor più importante in quanto rappresenta l'occasione per favorire l'adozione di corretti stili di vita, ovvero la promozione di attività fisica per ridurre la possibilità di insorgenza di malattie cronico-degenerative (NCD's) che sono fortemente comuni nelle persone con limitazioni visive, causa della vita sedentaria che conducono.

Lo studio condotto ha evidenziato numerose limitazioni, negli spazi attualmente considerati come scenari applicativi, in termini di accessibilità. È stato rilevato che tali spazi sono di difficile vivibilità da parte di utenti ciechi e ipovedenti (special-

for other users needing to access the athletics track.

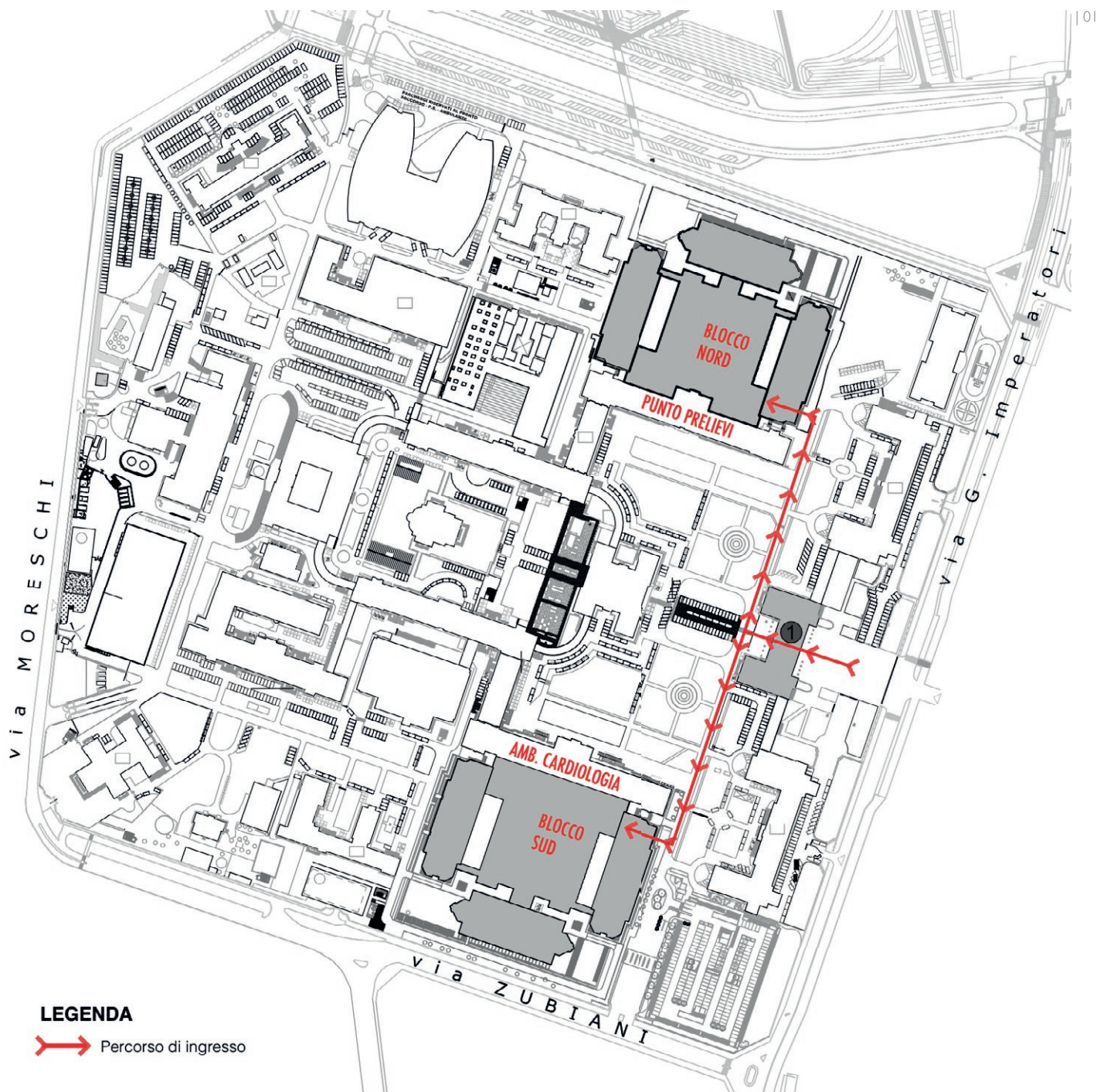
The robot-guided method will be appropriately customised according to both the needs of sportsmen and athletes with visual limitations (through interviews and thanks to UICI, ICM, DISABILINCORSA, NVM), and the behaviour of expert guides (dialogue with DISABILINCORSA), and ad-hoc training programmes. Biomechanical parameters will be monitored, and their standard/optimal profiles will be characterised. In this outdoor context, the experimentation becomes increasingly important because it is an opportunity to foster healthy lifestyles, promoting physical activity to reduce the possible onset of Non-Communicable Diseases (NCD's) that are common in the BVI people due to the sedentary life they lead.

The study conducted highlighted numerous limitations in terms of acces-

sibility in the spaces currently considered as application scenarios. It has been found that these spaces are difficult to live in for BVI users (especially if they are autonomous), and that there are many sources of danger, especially in the context of the “ASST Grande Ospedale Metropolitano Niguarda” Hospital where open spaces are shared with cars. Privileged paths for the project's case studies are, therefore, being defined, where the guiding robot and the user will be able to move safely. Changes relating to spaces leading to these routes and to the routes themselves are being studied to enhance their accessibility and visibility.

Validation & Exploitation

Experiments to validate the design principles and to test the robot's functions in the Giuriati Sport Center and in the Niguarda Hospital are scheduled



for the first months of 2023, thanks to the participation of visually impaired volunteers recruited by partner associations. Further research steps will include the definition of an economic sustainability plan and communication/marketing strategies for the commercialisation of BUDD-e for use in the application contexts; the patenting of the novel smart tether system; the analysis of potential future BUDD-e application, like

navigation in shopping centres and museums/cultural places (thanks to Tactile Vision); and networking with a potential future different target group (recovery, rehabilitation, and mobility of elderly patients, thanks to ASP Golgi Redaelli).

Preliminary outcomes, social importance and research outlooks

The 2006 ONU Convention on the Rights of Persons with Disabilities

proposes guidelines for the creation of an inclusive society. In line with this, BUDD-e proposes appropriate measures to ensure BVI people: improvements in their psycho-physical condition (e.g. greater autonomy and independence, higher self-esteem, better confidence, and less physical and mental fatigue) to develop the ability to actively decide about their daily lives; greater awareness of their needs and attitudes, encouraging recovery

from the sense of immobility, discomfort – by feeling different and a burden to others – and passivity caused by the pandemic period; greater accessibility to environments within the city context; greater integration in the social context by breaking down architectural and cultural barriers.

The beneficiaries of BUDD-e will go well beyond BVI people, with a positive impact on caregivers, as this technology reduces the need for support and

mente se in autonomia) e che le sorgenti di pericolo sono molteplici, specialmente nell'ambito del ASST Grande Ospedale Metropolitano Niguarda dove gli spazi all'aperto sono condivisi con automobili. Sono quindi in via di definizione dei percorsi privilegiati per i casi di studio del progetto, dove il robot guida e l'utente potranno muoversi in sicurezza; sono in fase di studio modifiche relative agli spazi per e a questi percorsi per aumentarne l'accessibilità e la visibilità.

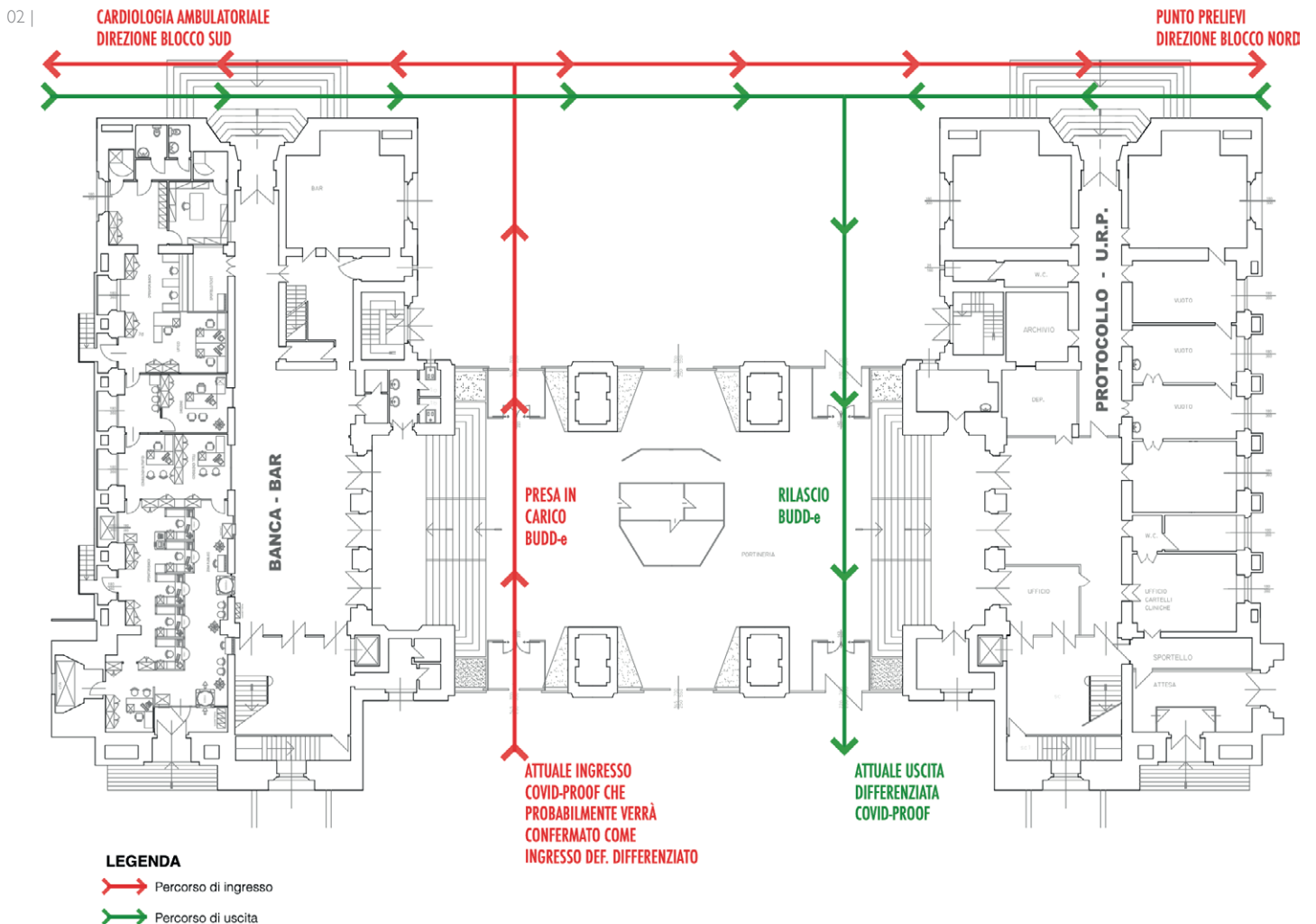
Validazione, scalabilità e sfruttamento dei risultati

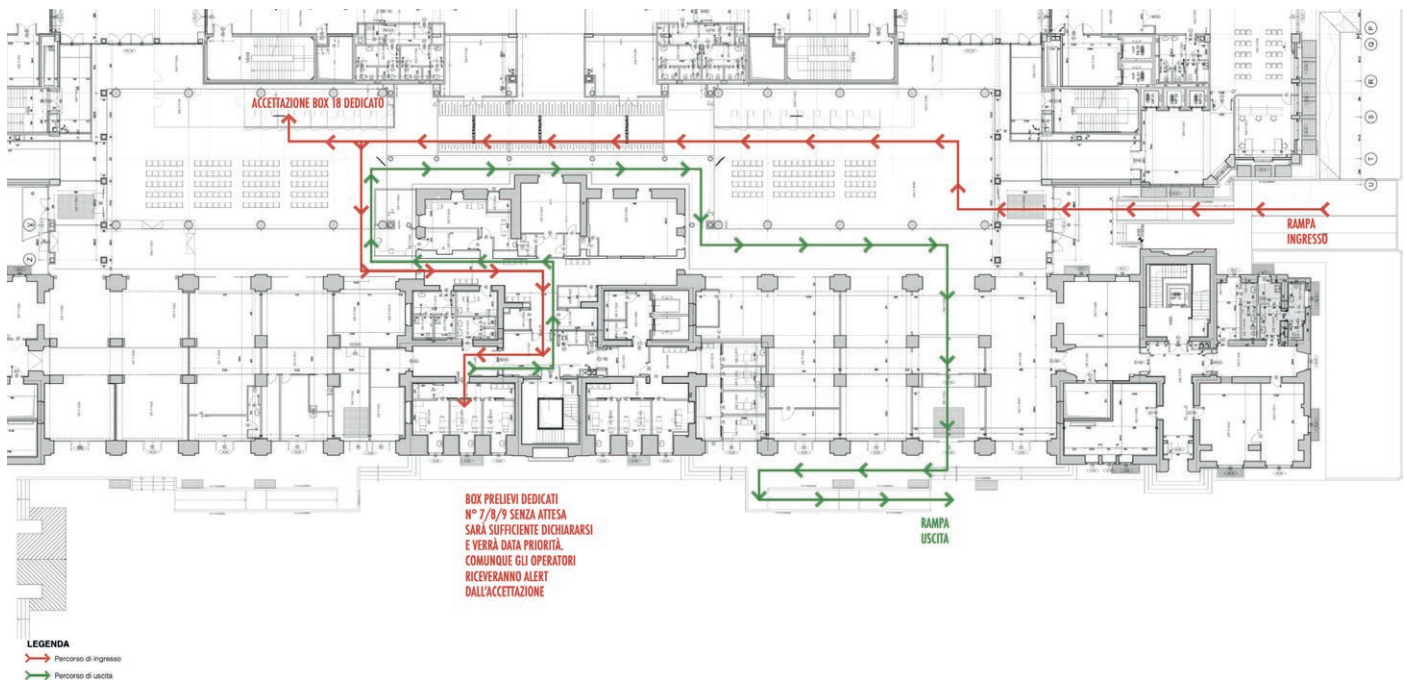
Le sperimentazioni per validare i principi di progettazione e per testare le funzionalità del robot BUDD-e nel centro sportivo Giurati e nell'Ospedale Niguarda, sono programmate per i mesi di Giugno e Luglio 2023, grazie alla partecipazione di volontari con limitazioni visive, reclutati nell'ambito della disponibilità delle Associazioni partner.

Ulteriori step di ricerca si concretizzano nella definizione di un piano di sostenibilità economica e strategie di comunicazione/marketing per la commercializzazione di BUDD-e e da implementare nei contesti applicativi; il brevetto del nuovo sistema *smart tether*; l'analisi di potenziali future applicazioni BUDD-e, come la navigazione in centri commerciali e luoghi culturali/museali (grazie alla collaborazione in corso con Tactile Vision ONLUS); ed infine merito del networking con potenziali futuri target group (recupero, riabilitazione e mobilità dei pazienti anziani, grazie alla collaborazione in corso con ASP Golgi Redaelli).

Risultati preliminari, rilevanza sociale e prospettive di ricerca

La Convenzione ONU del 2006 sui diritti delle persone con disabilità propone linee guida per la realizzazione di una società inclusiva. In coerenza con questa direttiva comu-





nitaria, BUDD-e propone misure appropriate per garantire alle persone con limitazioni visive: miglioramenti delle condizioni psicofisiche (es. maggiore autonomia e indipendenza, maggiore autostima, maggiore fiducia e minore affaticamento fisico e mentale) per sviluppare la capacità decidere attivamente sulla propria vita quotidiana; una maggiore consapevolezza dei propri bisogni e atteggiamenti, favorendo il recupero dal senso di immobilità, disagio e dalla passività causata dal periodo della pandemia trascorso; maggiore accessibilità agli ambienti all'interno del contesto urbano; una maggiore integrazione nel contesto sociale abbattendo le barriere architettoniche e culturali.

daily assistance, and on people without disabilities, raising awareness on topics like “diversity” and promoting solidarity and a truly inclusive society. BUDD-e will benefit not only individuals, but also the community from an economic and social perspective. It will encourage better access to resources and public activities through fairer and more accessible proposals for their customers. Improvements are expected in both citizen services (better customer experience within supermarkets, hospitals, museums, and sports centres), and cities, towards more liveable, and accessible neighbourhoods. The impact of the BUDD-e project lies at the intersection of two challenges of the 2030 Agenda, i.e. ensuring healthy lives and promoting well-being for all, and reducing inequalities by empowering and promoting the inclusion of

vulnerable persons with disabilities. Moreover, the social impact of the project will be divided into two macro-dimensions, aiming to quantify – first of all – personal and social recovery of individuals and, secondly, economic recovery at community level compared to the situation created by the Pandemic. At individual level, the main outcomes will be related to topics and aspects like social capital (social participation, level of interpersonal trust, satisfaction with family and friendship relationships), health (physical and psychological status), safety (mobility-related accident), and subjective well-being (satisfaction with personal life, perceived wellness). At community level, important indirect outcomes will be visible in the following fields: quality of services (infrastructure accessibility, services for citizens, place attachment) and healthy lifestyle promotion, like contrasting

I beneficiari di BUDD-e andranno ben oltre le persone con limitazioni visive, sino a raggiungere impatti positivi sui caregiver, in funzione del fatto che questa tecnologia riduce la necessità di supporto e assistenza quotidiana, sensibilizzando la popolazione su tematiche quali la “diversità” e promuovendo solidarietà ed inclusione sociale. BUDD-e porterà benefici non solo a livello individuale, ma anche economici e sociali a livello collettivo, di comunità. Incoraggerà un migliore accesso alle risorse e alle attività pubbliche, attraverso proposte più eque e accessibili per i propri utilizzatori. Sono attesi miglioramenti sia nei servizi al cittadino (migliore esperienza del fruitore all'interno di supermercati, ospedali,

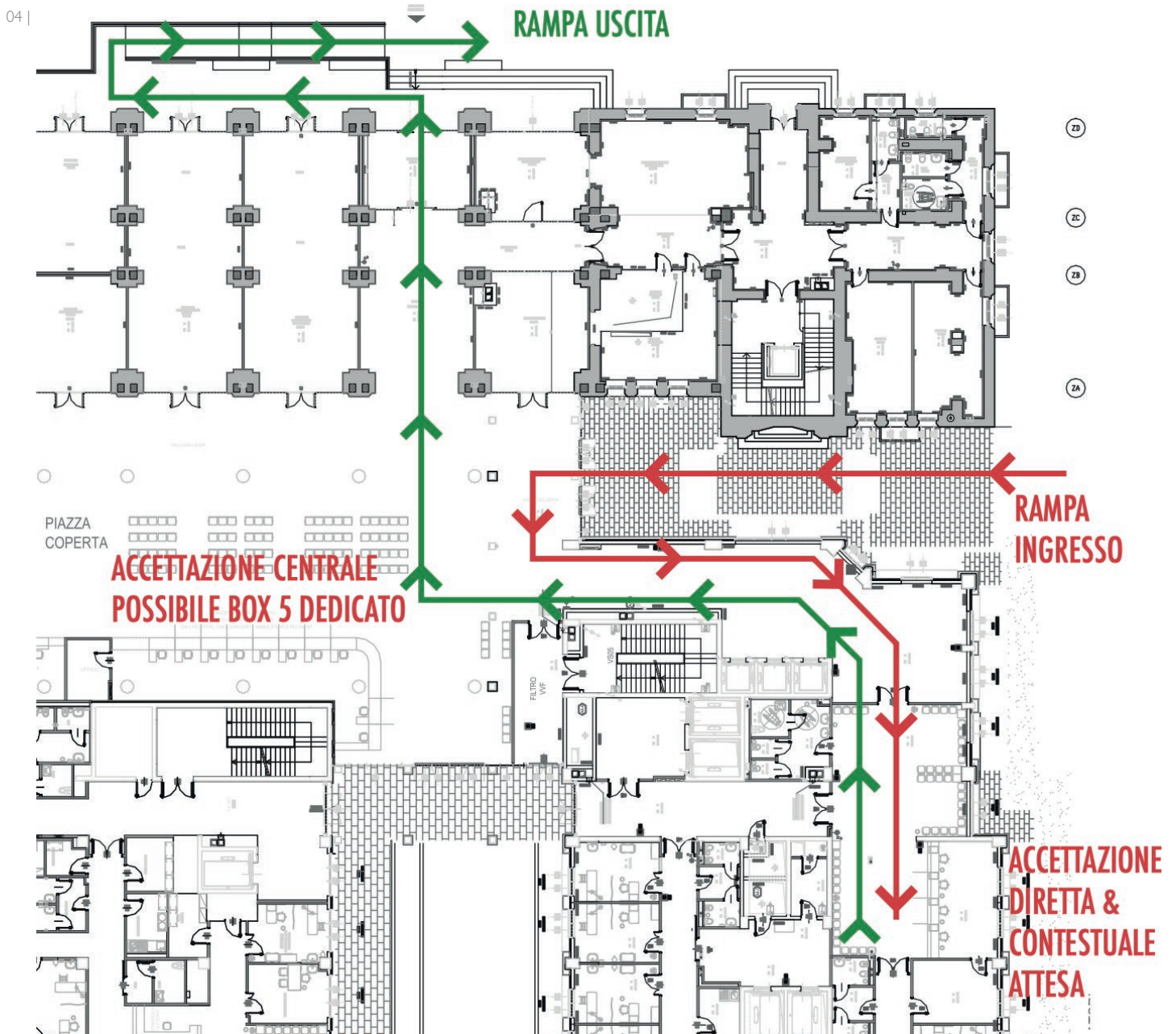
physical inactivity and promoting walkability. BUDD-e can generate a high social and economic impact that becomes important through the interaction of multidisciplinary partners, and thanks to the potential users involved in studying the project with interviews, questionnaires, focus groups, and in the physical experimentation under development. The benefits developed through the project will be measured through the Social Return On Investment (SROI) model applied to Pilot Cases “ASST Grande Ospedale Metropolitano Niguarda” Hospital and Giuriati Sport Center. The main steps for the calculation of the SROI will be carried out through the analysis of literature, specific meetings with partners, and interviews with key stakeholders. At the end of the activities, the results

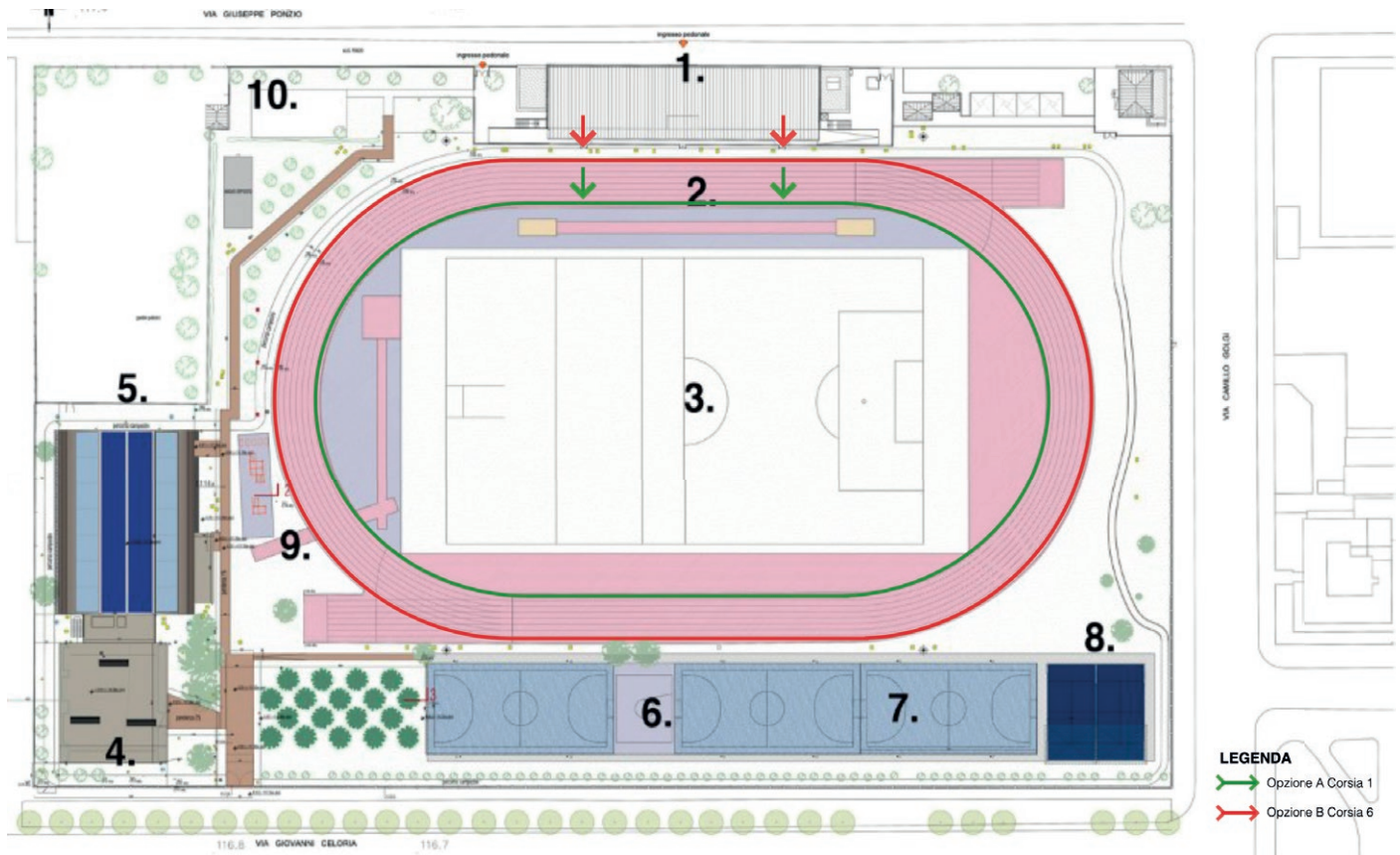
of the project (methods, environments, and technologies) can be used by other stakeholders both in their completeness, but also considering the different components separately. The model developed will, therefore, be exportable and will support other places and architectures to achieve more modern and accessible paradigms. ACKNOWLEDGMENT AND AUTHOR'S RIGHTS Multi-disciplinary lies at the core of the Polisocial Award 2021 research project. BUDD-e addresses, for the first time, the design of inclusive living spaces for blind and visually impaired persons through a unitary and comprehensive approach. This ambitious goal is being developed through an innovative synergistic research blending ICT, Automation, Design, and Architecture; the Politecnico di

musei, centri sportivi), sia nelle città, traguardando quartiere maggiormente vivibili e accessibili.
L'impatto del progetto BUDD-e potrebbe essere collocato nell'intersezione di due sfide dell'Agenda 2030, ovvero garantire una vita sana, promuovendo il benessere per tutti e ridurre le disuguaglianze rafforzando e promuovendo l'inclusione delle persone vulnerabili con disabilità.

Inoltre, l'impatto sociale del progetto sarà suddiviso in due macro-dimensioni, con l'obiettivo di quantificare – in primo luogo – il recupero personale e sociale degli individui, e in secondo luogo il recupero economico a livello comunitario rispetto la situazione creata dalla pandemia.

A livello individuale, i principali risultati saranno riferiti ad aspetti quali: capitale sociale (partecipazione sociale, livello di





fiducia interpersonale, soddisfazione per le relazioni familiari e di amicizia, salute (stato fisico e psicologico), sicurezza (infortunio legato alla mobilità) e benessere soggettivo (soddisfazione per la vita personale, benessere percepito). A livello di comunità, i risultati indiretti rilevanti saranno visibili nei seguenti ambiti: qualità dei servizi (accessibilità delle

infrastrutture, servizi per i cittadini, attaccamento al luogo) e promozione di stili di vita sani, come contrasto dell'inattività fisica e promozione della camminabilità. BUDD-e potrà generare un elevato impatto sociale ed economico, che diventa rilevante attraverso l'interazione dei partner multidisciplinari e grazie ai potenziali utenti coinvolti nel-

Milano Departments involved are Architecture, Built environment and Construction engineering (DABC), Electronics, Information and Bioengineering (DEIB), Design (DESIGN) and Management, economics and industrial engineering [DIG]. The Professors involved are:

- Marcello Farina, Scientific referee and expert in Control system design, mobile robotics;
- Emanuele Lettieri, Project Manager and expert in Management, acceptance of digital and assistive technologies in healthcare;
- Giuseppe Andreoni, expert in User experience and wearable sensors;
- Luca Bascetta, expert in Mobile and autonomous robotics, ROS programming;
- Matteo Corno, expert in Control of autonomous vehicles, control system integration;
- Manuela Galli, expert in Functional

assessment, motor rehabilitation, and smart sports infrastructures,

- Paolo Perego, expert in User experience, wearable sensors, Bioengineering; and
- Andrea Rebecchi, expert in orientation and wayfinding – with particular reference to healthcare infrastructures – and in the definition of design strategies for accessibility of both outdoor and indoor spaces.

NOTES
¹ Consiglio Regionale Lombardo dell'Unione Italiana dei Ciechi e degli Ipovedenti (UICI) ONLUS-APS, founded in 1920 and with more than 47,000 associates in Italy, promotes the emancipation and integration of BVI persons.
² Fondazione Istituto dei Ciechi di Milano (ICM) ONLUS, founded in 1840, operates for the full integration of BVI persons in society, fostering

their autonomy and promoting their personal ambitions.
³ DISABILINCORSA ONLUS has the goal of promoting sports (with special focus on running) as a means of fostering aggregation and solidarity, besides raising the social status of disabled persons.
⁴ Gruppo Sportivo Dilettantistico GSD Non Vedenti Milano (NVM) ONLUS has fostered, for more than 40 years, sports activities for BVI persons by organising courses, public events, and competitions.
⁵ ASST Grande Ospedale Metropolitano Niguarda is one of the largest hospitals in Milan, and is one of the selected application scenarios considered in BUDD-e.
⁶ Azienda Servizi alla Persona (ASP) Golgi Redaelli has a longstanding history in contributing to the well-being of the community by dealing with geriatric care and treatment of degen-

erative diseases. This important institution will contribute to making the most of the project by providing an application scenario and physical spaces to analyse the impact of wayfinding, rehabilitation, and mobility in residential centres for elderly people.
⁷ Tactile Vision ONLUS is a non-profit association that operates in the field on inclusive communication in line with Universal Design principles. In particular, this association will share with us its expertise about the design of tools to improve the access of BVI persons especially to museums, and cultural events.
⁸ YAPE S.r.l. is part of the e-Novia group, spinoff of Politecnico di Milano. YAPE is currently classified as a self-driving last-mile delivery system. YAPE shares its expertise in the design and implementation of mobile autonomous robots that must be deployed in shared spaces.

lo studio del progetto attraverso interviste, questionari, focus group e nella sperimentazione fisica in corso di sviluppo.

I benefici sviluppati attraverso il progetto saranno misurati attraverso il modello *Social Return On Investment* (SROI) applicato ai casi pilota ASST Grande Ospedale Metropolitano Niguarda e Giuriati Sport Center. Attraverso l'analisi della letteratura, incontri specifici con i partner e interviste con i principali stakeholder, verranno eseguiti i passaggi fondamentali per il calcolo dello SROI.

Al termine delle attività, i risultati del progetto (metodi, ambienti e tecnologie) possono essere utilizzati da altri *stakeholder* sia nella loro completezza, ma anche considerando separatamente le diverse componenti. Il modello sviluppato sarà quindi esportabile e supporterà altri luoghi e architetture verso paradigmi più moderni e accessibili.

Riconoscimenti e diritti d'autore

La multidisciplinarietà è al centro del progetto di ricerca Poli-social Award 2021. BUDD-e si rivolge, per la prima volta, alla progettazione di spazi abitativi inclusivi per non vedenti e ipovedenti, attraverso un approccio unitario e globale.

Questo ambizioso obiettivo viene sviluppato attraverso una ricerca sinergica innovativa che unisce ICT, Automazione, Design e Architettura; i Dipartimenti del Politecnico di Milano coinvolti sono Architettura, ingegneria delle costruzioni e ambiente costruito (DABC), Elettronica, Informatica e Bioingegneria (DEIB), Design (DESIGN) ed Ingegneria Gestionale

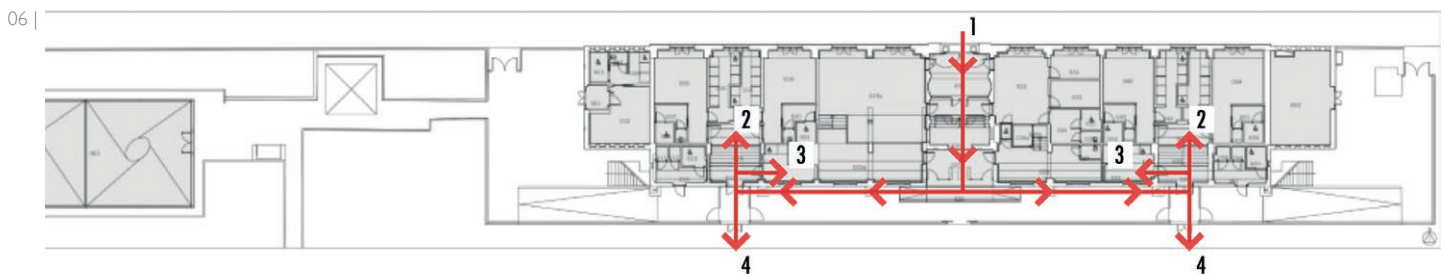
(DIG). I Professori coinvolti sono:

- Marcello Farina, Referente scientifico ed esperto di Progettazione di sistemi di controllo e di robotica mobile;
- Emanuele Lettieri, *Project Manager* ed esperto in *Management*, accettazione di tecnologie digitali e assistive in ambito sanitario;
- Giuseppe Andreoni, esperto in *User experience* e sensori indossabili;
- Luca Bascetta, esperto in Robotica mobile e autonoma, programmazione ROS;
- Matteo Corno, esperto in Controllo di veicoli autonomi, integrazione di sistemi di controllo;
- Manuela Galli, esperta in Valutazione funzionale, riabilitazione motoria e infrastrutture sportive intelligenti,
- Paolo Perego, esperto in *User experience*, sensori indossabili, Bioingegneria; e
- Andrea Rebecchi, esperto in orientamento e *wayfinding* – con particolare riferimento alle strutture socio-sanitarie – e definizione delle strategie progettuali per l'accessibilità sia dei luoghi *outdoor*, che degli spazi *indoor*.

NOTE

¹ Consiglio Regionale Lombardo dell'Unione Italiana dei Ciechi e degli Ipovedenti (UICI) ONLUS-APS, fondata nel 1920 e con più di 47000 associati in Italia, promuove l'emancipazione e l'integrazione degli utenti BVI.

² Fondazione Istituto dei Ciechi di Milano (ICM) ONLUS, fondata nel 1840, opera per la piena integrazione degli utenti BVI nella società, favorendone l'autonomia e promuovendone le ambizioni personali.



1. INGRESSO PRINCIPALE ALL'EDIFICIO 36
2. SPOGLIATOI M/F
3. SPOGLIATOI DIVERSAMENTE ABILI M/F
4. ACCESSO DEDICATO ALLA PISTA DI ATLETICA

LEGENDA

→ Percorso di ingresso

³ DISABILINCORSA ONLUS ha l'obiettivo di promuovere lo sport (con particolare attenzione alla corsa) come veicolo di aggregazione, solidarietà e per elevare la condizione sociale delle persone con disabilità.

⁴ Gruppo Sportivo Dilettantistico GSD Non Vedenti Milano (NVM) ONLUS promuove, da più di 40 anni, attività sportive per gli utenti BVI organizzando corsi, eventi pubblici e competizioni.

⁵ ASST Grande Ospedale Metropolitano Niguarda è uno dei maggiori ospedali milanesi ed è uno degli scenari applicativi di BUDD-e.

⁶ Azienda Servizi alla Persona (ASP) Golgi Redaelli ha una lunga storia nel contribuire al benessere della comunità occupandosi di assistenza geriatrica e cura delle malattie degenerative. Questa importante istituzione contribuirà allo sfruttamento del progetto, fornendo uno scenario applicativo e spazi fisici per l'analisi dell'impatto dell'orientamento, della riabilitazione e della mobilità nei centri residenziali per anziani.

⁷ Tactile Vision ONLUS è un'Associazione no-profit che opera nel campo della comunicazione inclusiva in linea con i principi dell'*Universal Design*. In particolare, questa Associazione condividerà la propria esperienza nella progettazione di strumenti per migliorare l'accesso degli utenti BVI in particolare ai musei e agli eventi culturali.

⁸ YAPE S.r.l. fa parte del gruppo e-Novia, spin-off del Politecnico di Milano. YAPE è attualmente classificato come un sistema di consegna dell'ultimo miglio a guida autonoma; YAPE condivide la sua esperienza nella progettazione e realizzazione di robot mobili autonomi capaci di muoversi in spazi condivisi.

REFERENCES

Accenture (2019), "All in: Inclusion and Diversity drive shopper habits", available at: https://www.accenture.com/_acnmedia/Accenture/Conversion-Assets/Secure/pdf-no-index-3/Accenture-Inclusion-and-Diversity-in-Retail.pdf#zoom=50

Brambilla, A. *et al.* (2019), "Evidence Based Hospital Design. A literature review of the recent publications about the EBD impact of built environment on hospital occupants' and organizational outcomes", *Annali di Igiene*, Vol. 31, n. 2, pp. 165-180.

Buffoli, M. *et al.* (2015), "Healthcare sustainability evaluation systems", in Capolongo, S., Bottero, M.C., Buffoli, M., Lettieri, E. (Eds.), *Improving Sustainability During Hospital Design and Operation: A Multidisciplinary Evaluation Tool*, Springer, pp. 23-30.

Capolongo, S. *et al.* (2014), "Soft qualities in healthcare. Method and tools for soft qualities design in hospitals' built environments", *Annali di igiene: medicina preventiva e di comunità*, Vol. 26, n. 4, pp. 391-399.

Capolongo, S. *et al.* (2015), "Healthcare sustainability challenge", in Capolongo, S., Bottero, M.C., Buffoli, M., Lettieri, E. (Eds.), *Improving sustainability during hospital design and operation: A multidisciplinary evaluation tool*, Springer, pp. 1-10.

Capolongo, S. *et al.* (2016), "Social sustainability in healthcare facilities: a rating tool for analyzing and improving social aspects in environments of care", *Ann. Istituto Superiore Sanità*, Vol. 52, n. 1, pp. 15-23.

Capolongo, S. *et al.* (2020), "COVID-19 and cities: From urban health strategies to the pandemic challenge. a decalogue of public health opportunities", *Acta Biomedica*, Vol. 91, n. 2, pp. 13-22.

Chuang, T.K. *et al.* (2018), "Deep Trail-Following Robotic Guide Dog in Pedestrian Environments for People who are Blind and Visually Impaired – Learning from Virtual and Real Worlds", *IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA)*, pp. 5849-5855.

Elgendy M. *et al.* (2019), "Making shopping easy for people with visual impairment using mobile assistive technologies", *Applied Science*, Vol. 9, n. 6, p. 1061.

Guerreiro, J. *et al.* (2019a), "Airport accessibility and navigation assistance for people with visual impairments", *Proceedings of the 2019 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, Paper 16.

Guerreiro, J. *et al.* (2019b), "CaBot: Designing and evaluating an autonomous navigation robot for blind people", *Proceedings of ASSETS '19 Conference*, p. 68-82.

Hersh, M.A. *et al.* (2012), "A robotic guide for blind people Part 2: gender and national analysis of a multi-national survey and the application of the survey results and the CAT model to framing robot design specifications", *Applied bionics and biomechanics*, Vol. 9, pp. 29-43.

Kulkarni, A. *et al.* (2016), "Robotic assistance in indoor navigation for people who are blind", *11th ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction (HRI)*, pp. 461-462.

Manduchi R. *et al.* (2011), "Mobility-related accidents experienced by people with visual impairment", *Insight: Research and practice in visual impairment and blindness*, Vol. 4, n. 2, pp. 44-54.

Mosca, E.I. *et al.* (2019), "Inspiring architects in the application of design for all: Knowledge transfer methods and tools", *Journal of Accessibility and Design for All*, Vol. 9, n. 1, pp. 1-24.

Mosca, E.I. *et al.* (2019b), "Evaluating a proposed design for all (DfA) manual for architecture", *Proceedings of the AHFE 2018 International Conference on Design for Inclusion, in Advances in Design for Inclusion*, Springer, pp. 54-64.

Tobita, K. *et al.* (2017), "Examination of a guidance robot for visually impaired people", *Journal of Robotics and Mechatronics*, Vol. 29, n. 4, pp. 720-727.

U.S. Department of Justice (1990; 2008), "USA's Americans with Disabilities Act", available at: <https://www.ada.gov/>.

UK government (2010), "UK's Equality Act of 2010", available at: <https://www.legislation.gov.uk/ukpga/2010/15/contents>.

Zeng, L. *et al.* (2019), "HepticRein: design and development of an interactive haptic rein for a guidance robot", *Proceedings of the 16th International Conference Computers Helping People with Special Needs – ICCHP*, pp. 94-101.

Zeng, L.A. (2015), *Survey: Outdoor Mobility Experiences by the Visually Impaired*, Mensch & Computer – Workshopband.